

明 細 書

フォトニック結晶を使用した対象物質センサー及び対象物質の検出方法
技術分野

[0001] 本発明は、フォトニック結晶を使用した対象物質のセンサー及びその対象物質の検出方法に関する。

背景技術

[0002] 先行技術を示す刊行物(R.Wehrspohn編、「Photonic Crystals」、ISBN3-527-40432-5、p.238-246)は、フォトニック結晶を使用したセンサーを開示している。このセンサーはバルク型の3次元フォトニック結晶をセンサー要素として使用し、センサー要素の厚み方向の一面から検出対象ガスを導入するとともに検出対象ガスの吸収波長と一致する波長の光を入射させ、センサー要素の他面から出射される光をフォトディテクタのような検出器にて検出し、検出した光の強度に基づいて濃度を計算するように構成されている。

[0003] 一般に、フォトニック結晶中を伝搬する電磁波の群速度を V_g 、伝搬定数を β 、周波数を ω とすると、群速度 V_g は $V_g = (d\beta / d\omega)^{-1}$ で定義される。したがって、群速度 V_g は、伝搬定数 β の変化に対する周波数 ω の変化が小さくなるほど遅くなり、周波数 ω と伝搬定数 β との関係が定在波条件(導波モードのモード端の条件)になると零になる。

[0004] 上記刊行物に開示されたセンサーでは、3次元フォトニック結晶を伝搬する光の群速度 V_g を真空中の光速の30%程度の値に設計することで光路長を長くしたものであり、3次元フォトニック結晶の厚さ(つまり、光の入射方向に沿った方向の寸法)が数cmとする必要がある。このため、意図した群速度を得るための周波数 ω と伝搬定数 β との条件を満足する100nmオーダーの屈折率周期構造を3次元フォトニック結晶の全体に亘って均一に作製する必要があり、屈折率周期構造がゆらぐとその部分では群速度 V_g が設計値から外れて、正確な濃度測定が不可能となるため、3次元フォトニック結晶製造にあたって非常に精度の高い製造技術が要求される。

[0005] 更に、3次元フォトニック結晶の厚さ寸法が比較的大きいため、伝搬モードがマルチ

モードとなって同じ波長でも群速度が遅いモードと速いモードとが混在し、群速度が一定の場合に比べて感度が低下してしまう恐れがあり、3次元フォトニック結晶への入射光についても様々なモードへの結合効率を一定にしないと、感度がばらつくことになるから、光源と3次元フォトニック結晶との相対的な位置関係について高い位置精度が要求される。

- [0006] また、群速度 V_g の遅い光による空間的な電界強度分布が一般的な空間光の電界強度分布であるガウス分布とは大きく異なるので、3次元フォトニック結晶における光の入射面において光の結合損失が生じて感度の低下を招いてしまうことがあり、電界強度分布を変換するような複雑なカップリング構造が必要となる。

発明の開示

- [0007] 本発明は上記の問題点に鑑みて為されたものであり、その目的は、検出対象物質に対する感度が高く且つ小型化が可能な、フォトニック結晶を使用した対象物質センサー及び対象物質の検出方法を提供することにある。
- [0008] 本発明に係るセンサーは、電磁波を供給する電磁波発生源と、フォトニックセンサー要素と、検出器とで構成される。フォトニックセンサー要素はフォトニック結晶構造を有し、電磁波を導入するセンサー導波路と、このセンサー導波路に電磁的に結合して導入された電磁波を特定波長で共振させるセンサー共振器とを備えるものであり、センサー共振器が対象物質を含む雰囲気中に露出されることでセンサー共振器から放出される電磁波の特性を変化させる。検出器はセンサー共振器から放出される電磁波を受けて電磁波の強度変化を認識して、この強度変化から対象物質の特性を決定し、この特性を示す信号を出力する。このように構成されセンサーでは、フォトニック結晶内に形成した共振器で生じる特定波長の電磁波の共振を利用して、共振器から放出される電磁波の強度に基づいて対象物質の特性を検出できるため、フォトニックセンサー要素としては、センサー導波路とセンサー共振器とが配置される2次元構造のフォトニック結晶が利用でき、薄型化が計れることに加えて、精密なフォトニック結晶構造が要求される箇所が、従来の3次元構造のフォトニック結晶を利用したセンサー要素に比べて少なくなり、製造コストの低減につながる。
- [0009] 好ましくは、上記の検出器は電磁波の特性変化から対象物質の濃度を決定して、

この濃度を示す信号を出力するように構成される。

[0010] 対象物質の濃度の検出に際しては、対象物質が特定波長の電磁波を吸収する現象を利用する場合と、対象物質の存在によって共振器から出力される電磁波の波長がシフトする現象を利用する場合とによって、異なる方式が用いられる。

[0011] 対象物質が特定波長の電磁波を吸収する現象を利用する構成では、フォトニック結晶構造内において、リファレンス導波路とリファレンス共振器とが追加されたフォトニックセンサー要素を使用する。このリファレンス導波路は電磁波発生源から上記の電磁波を導入する。リファレンス共振器はこのリファレンス導波路に電磁的に結合することで、導入された電磁波を上記の特定波長で共振させる。検出器は、センサー共振器からの上記の特定波長の電磁波の強度を示す検出信号を出力する出力強度計と、リファレンス共振器から放出される電磁波の強度を示すリファレンス信号を出力するリファレンス強度計と、上記の検出信号をリファレンス信号と比較して、上記の特定波長の電磁波の減衰量を求め、この減衰量から対象物質の濃度を算出する濃度計とで構成される。従って、センサー共振器で共振する電磁波の波長が、対象物質が吸収する電磁波の波長と一致するように設定することで、対象物質が示す電磁波の吸収特性を利用して、対象物濃度を特定波長の電磁波の減衰量に対応させることで、濃度検出を精度よく行うことができる。

[0012] この場合、フォトニックセンサー要素は2次元配列のフォトニック結晶構造を有し、センサー導波路及びリファレンス導波路はそれぞれ2次元フォトニック結晶構造内で延出して両端に入力ポートと出力ポートとを形成することが望ましい。各入力ポートは電磁波発生源からの電磁波を受けるように配置され、各出力ポートは上記出力強度計及びリファレンス強度計にそれぞれ結合して、センサー共振とリファレンス共振器のそれぞれから放出される電磁波を出力する

センサー共振器とリファレンス共振器は、それぞれセンサー導波路及びリファレンス導波路内に配置されることが好ましい。更には、各導波路内に複数の共振器を直列に配置することによって、出力電磁波の出力効率であるドロップ効率を高めて、検出感度を高めることが望ましい。

[0013] 更には、フォトニックセンサー要素はセンサー出力導波路とリファレンス出力導波路

とを備えるように形成しても良い。センサー出力導波路及びリファレンス出力導波路はそれぞれ対応するセンサー導波路とリファレンス導波路と平行に延出して、センサー共振器とリファレンス共振器とにそれぞれ電磁結合される。これらのセンサー出力導波路とリファレンス出力導波路とはそれぞれその長手方向の一端に出力ポートを規定して、この出力ポートがそれぞれ上記の出力強度計とリファレンス強度計とに結合されることになる。

[0014] また、出力強度計とリファレンス強度計はそれぞれはフォトニックセンサー要素の平面から離間して配置されて、センサー共振器及びリファレンス共振器とにそれぞれ結合されてそこから放出される電磁波を受けるようにしてもよい。

[0015] 更に、センサー共振器とリファレンス共振器への電磁波の入力経路を共通化することも可能である。この場合、互いに異なる第1フォトニック結晶構造と第2結晶構造が横に並んだフォトニックセンサー要素が使用される。導波路は第1フォトニック結晶構造から第2フォトニック結晶構造に跨って延出する入力導波路と、第1フォトニック結晶構造内で延出する第1出力導波路と、第2フォトニック結晶構造内で延出する第2出力導波路とで構成される。センサー共振器が第1フォトニック結晶構造内に形成され、第2フォトニック結晶構造内にリファレンス共振器が形成される。リファレンス共振器はセンサー共振器での特定波長($\lambda 1$)と異なる波長($\lambda 2$)で電磁波を共振させるように設計される。この構成によれば、センサー共振器で共振する電磁波の第1波長($\lambda 1$)を対象物質が吸収する電磁波の波長とすることで、リファレンス共振器で共振する第2波長($\lambda 2$)の電磁波は対象物質の影響を受けることがなく、リファレンス共振器を対象物質が含まれる雰囲気から遮蔽する必要を無くすることができる。

[0016] 本発明の別の好ましい形態では、対象物質との接触によって共振部周囲の屈折率が変化する現象を利用して、対象物質の濃度を測定するための構造が実現される。共振部周囲の屈折率が変化すると、共振部で共振する電磁波の波長がシフトする。この場合、屈折率の変化、即ち、共振波長のシフト量は対象物質によって固有に決まるものであるため、対象物質に応じてシフトした波長の電磁波強度を検出することで、対象物質の濃度が求められる。これを実現するために、電磁波発生源から異なる波長を含む電磁波がセンサー導波路に供給され、対象物質の種類に対応した特定

波長の電磁波がセンサー共振器で共振を起こす。この場合、検出器はセンサー共振器から出力される特定波長の電磁波(対象物質が存在することによって変化した波長の電磁波)を選択して、選択した特定波長の電磁波強度を分析することで、対象物質の濃度が測定できる。この方式は、特定波長での電磁波の吸収が認められない対象物質の検出に有効であり、リファレンス共振器及びこれに関連する要素が不要となるもので、より小型化のセンサーが実現できる。

- [0017] 特定波長の電磁波を選択するためには分光機能が必要であるが、この分光機能を必要としない方式を実現する構成も可能である。この場合、電磁波発生源としては、可変波長の電磁波を発生させるものを使用し、時間と共に波長が変化する電磁波をフォトニックセンサー要素に導入する。波長のスイープ範囲は、対象物質が示す屈折率によって決まる特定波長を含むように設定され、その特定波長の電磁波が電磁波発生源から導入された時点での、共振器からの電磁波強度を検出器で求めることで、対象物質の濃度が測定できる。
- [0018] 更に、センサー共振器での共振波長のシフトを利用する方式は、複数種類の対象物質の検出を行うために有用である。即ち、センサー導波路とセンサー共振器と検出器とで構成される一つの検出ユニットを多数配置し、各検出ユニット中のセンサー共振器で共振する電磁波の特定波長を互いに異なるものとする、即ち、対象物質に応じて異なるようにすることで、異なる対象物質の濃度を対応する電磁波強度から求めることができる。
- [0019] センサー共振器での対象物質に応じた波長シフトを積極的に起こさせるまたは強化するための一つの手段として、対象物と反応してセンサー共振器周囲の屈折率に顕著な変化を与えて同様に顕著な波長シフトをもたらす感応体をセンサー共振器に付着させることが好ましい。
- [0020] このような感応体を使用する場合、フォトニックセンサー要素内に設けた2つのセンサー共振器の一方にこの感応体を付着させることが可能である。この場合は、感応体を設けていないセンサー共振器と感応体を設けたセンサー共振器とから放射される合成電磁波の強度を参照することで、感応体で反応を起こす対象物質の濃度が求められる。

- [0021] センサー共振器での共振波長のシフトを利用する方式では、複数のセンサー共振器を2次元配列とすることで、面センサーが容易に構築できる。この場合、複数の対象検出器が複数のセンサー共振器に合致させる形で2次元配列されることで、各対象検出器でそれぞれ異なる濃度が決定され、2次元平面での対象物質の濃度分布を求めることができる。
- [0022] 更には、対象物質の濃度とは別に、ある範囲に亘る領域内に分散する異なる対象物質の種類の検出することも可能である。この場合、複数のセンサー共振器が2次元配列で配置され、これに対応させて複数の検出器が2次元配列で配置される。複数のセンサー共振器はそれぞれ異なる特定波長の電磁波で共振するように設定されることで、複数の検出器がセンサー共振器から放出される特定波長の電磁波の強度に基づいて、異なる対象物質の存在を特定することができ、2次元面内での異なる対象物質の分布を求めることができる。
- [0023] 更に、本発明では、センサー共振器以外の箇所に感応体を配置することによって生じる電磁波強度の変化に基づいて対象物質の濃度を決定する有用な構造を開示する。例えば、センサー導波路内に感応体を配置すれば、対象物との反応によってセンサー導波路での屈折率が変化して、センサー導波路とセンサー共振器との間の実効導波路長が変化し、その結果、検出器に出力される電磁波強度に変化をもたらす。検出器はこの電磁波強度の変化に基づいて対象物質の濃度を求めることができる。
- [0024] また、フォトニックセンサー要素に配置した2つのセンサー共振器間のエネルギー結合部位に感応体を配置すれば、同様にして、対象物質との反応により、エネルギー結合部位の実効導波路長が変化するため、この変化に伴って生じる電磁波強度を分析することで対象物質の濃度を求めることができる。
- [0025] 更に、本発明では、上のような感応体を特殊なフォトニック結晶構造と組み合わせることで、高感度の濃度検出を行うためのフォトニックセンサー素子の構成を提案する。フォトニックセンサー素子は、第1フォトニック結晶構造と第2フォトニック結晶構造を有し、これらの第1、第2フォトニック結晶構造は互いに異なり、2次元配列内において横に並んで配置される。センサー導波路は入力導波路と出力導波路とで構成され、

これらの入力導波路と出力導波路は互いに平行に延出しすると共に、それぞれが第1フォトニック結晶構造の全長に亘って延出して第2フォトニック結晶構造内に至る。センサー共振器は第1フォトニック結晶構造内で入力導波路と出力導波路との間に配置されて両者に電磁結合する。入力導波路の長手方向の一端で、第2フォトニック結晶構造と離れたところに電磁波発生源からの電磁波を受ける入力ポートが形成される。出力導波路の長手方向の一端で第2結晶構造と離れたところには、センサー共振器において特定波長で共振する電磁波を放出する出力ポートが形成される。入力導波路には、第1フォトニック結晶構造と第2フォトニック結晶構造との界面で、特定波長の電磁波をセンサー共振器側に反射する入力反射部が形成される。また、出力導波路にも、第1結晶構造と第2結晶構造との界面で、特定波長の電磁波を出力ポート側に反射する出力反射部が形成される。このような構成の入力導波路と出力導波路のそれぞれに、第1フォトニック結晶構造と第2フォトニック結晶構造とに跨る部分で、上記の感応体が形成される。この感応体は対象物質と反応することで反射効率を変化させて、その結果上記の対象検出器での電磁波の強度を変化させるものであり、検出器は対象物質の濃度をこの強度の関数として計算する。このように、入力導波路や出力導波路を異なるフォトニック結晶構造に跨るように設計してその界面において電磁波の反射部を形成し、異なるフォトニック結晶構造に跨る部分において入力導波路や出力導波路に、対象物質の存在に感応して電磁波の特性を変化させる感応体を設けているため、対象物質の存在により反射部での屈折率変化が強調されて、センサー共振器側に進む電磁波の位相変化を発生させることができ、その結果、センサー共振器で共振しここから放出される特定波長の電磁波のドロップ効率を高めることができ、高感度で対象物質の濃度を測定できる。

[0026] また、本発明のセンサーにおいては、環境状態を示す環境パラメータをモニターするコントローラを設けることが望ましい。このコントローラは環境パラメータに基づいてセンサー共振器の光学特性を補償して特定波長で電磁波を共振させるものであって、温度などの外乱要因を補償して、正確な測定を可能とする。一例としては、フォトニックセンサー要素にヒータが付設され、コントローラによる制御でセンサー共振器の温度を管理してフォトニックセンサー要素の光学特性を補償することで、センサー共振

器の特性を一定に保つことができる。

[0027] 更に、本発明のセンサーにはセンサー共振器上に補足された対象物質乃至不純物を取り除く、リフレッシュ手段が設けることも望ましい。この手段としては、熱により対象物質乃至不純物を共振器から放出させるヒータを使用することができる。

[0028] 更に、上述のヒータは導波路部を導波する電磁波の波長もしくは強度を変調する変調手段として利用することができる。すなわち、ヒータへ一定の周期で通電することにより、共振器から放出される電磁波の強度、又は波長を周期的に変調させ、検出器で検出した電磁波の内、変調された電磁波のみを検出器で選択することにより、共振器以外から検出器に到達する、ノイズの電磁波と識別し、測定精度を向上することができる。

[0029] 本発明は更にフォトニック結晶を利用した対象物質の濃度検出方法を提供する。この方法では、電磁波を導入するセンサー導波路とこれに電磁結合して特定波長の電磁波を共振させるセンサー共振器とを備えたフォトニックセンサー要素を使用し、センサー共振器を対象物質を含む雰囲気中に露出させ、特定波長を含む電磁波を上記センサー導波路に導入することで、センサー共振器において共振する電磁波の強度を検出し、この強度を分析して対象物質の濃度を計算することができる。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]本発明に係るセンサーの第1実施形態を示す概略図。

[図2]同上の機能ブロック図。

[図3]同上の濃度検出を説明するグラフ図。

[図4]同上で使用するフォトニックセンサー要素の他例を示す斜視図。

[図5]同上で使用するフォトニックセンサー要素の他例を示す斜視図。

[図6]同上で使用するフォトニックセンサー要素の他例を示す斜視図。

[図7]同上で使用するフォトニックセンサー要素の他例を示す斜視図。

[図8]同上で使用するフォトニックセンサー要素の他例を示す斜視図。

[図9]本発明に係るセンサーの第2実施形態を示す概略図。

[図10]本発明に係るセンサーの第3実施形態を示す概略図。

[図11]同上の機能ブロック図。

[図12]同上での濃度検出を説明するグラフ図。

[図13]同上で使用するフォトニックセンサー要素を示す斜視図。

[図14]図13中で示すセンサー共振器を含む部分の一部拡大上面図。

[図15]図13中で示すセンサー共振器を含む部分の一部拡大断面図。

[図16]同上で使用するフォトニックセンサー要素の他例を示す斜視図。

[図17]同上で使用するフォトニックセンサー要素の他例を示す斜視図。

[図18]同上で使用するフォトニックセンサー要素の他例を示す斜視図。

[図19]同上で使用するフォトニックセンサー要素の他例を示す斜視図。

[図20]同上で使用するフォトニックセンサー要素の他例を示す斜視図。

[図21]本発明に係るセンサーの第4実施形態を示す概略図。

[図22]同上の機能ブロック図。

[図23]本発明に係るセンサーの第5実施形態を示す概略図。

[図24]同上で使用するフォトニックセンサー要素の他例を示す斜視図。

[図25]同上で使用するフォトニックセンサー要素の他例を示す斜視図。

[図26]本発明に係るセンサーの第6実施形態を示す概略図。

発明を実施するための最良の形態

- [0031] 本発明に係るセンサーは、2次元配列のフォトニック結晶構造を有するフォトニックセンサー要素20を使用する。フォトニック結晶構造とは、母材中に母材とは異なる屈折率を有する物質を微少周期で配列したもので、入射した電磁波の方向や伝搬速度を任意に変更する光学特性を備える。本発明では、一例として、屈折率が3.4のシリコン半導体(厚さ=250ナノメートル)を母材として用い、この母材中に微細な円形孔($\phi=240$ ナノメートル)を420ナノメートルのピッチで2次元上に配列したフォトニック結晶を使用している。この結果、微細孔に存在する屈折率が1である空気が基材(屈折率3.4)に周期的に分散してフォトニック結晶の特性が与えられる。このシリコン半導体は酸化シリコン層であるSOI基板(屈折率1.5)の上に担持される。即ち、フォトニック結晶はSOI基板を用い、表面のシリコン半導体層をエッチングして、多数の微少な円形孔を形成することで、シリコン半導体層内にフォトニック結晶構造を実現している。

[0032] このフォトニックセンサー要素20には、入力される電磁波の導波路22及び、導波路に導入した電磁波の内の特定の波長のものを共振させる共振器24が形成される。これらの導波路及び共振器は、フォトニック結晶構造中の周期構造に欠陥を与える、すなわち、孔が存在しない部分を設けることで形成される。

[0033] 電磁波として、周波数帯がC帯(1530nm～1565nm)やL帯(1565nm～1625nm)などの光通信波長帯のものを使用する場合、2次元フォトニック結晶1における円形孔の配列周期(2次元フォトニック結晶の屈折率周期構造の周期であって2次元三角格子の格子点間の距離) a を $0.42\mu\text{m}$ とし、円形孔の半径を $0.29a$ 、センサー要素の厚さを $0.6a$ に設定する。これにより、フォトニック結晶の厚み方向に直交する2次元面内のあらゆる方向から入射する上記周波数帯の電磁波(光)を伝搬しない波長帯であるフォトニックバンドギャップを形成し、導波路22および共振器24は適宜の数の円形孔を省略することにより形成する電磁波の伝搬を可能とさせる。なお、円形孔の配列方向の周期 a や円形孔の半径の各数値は特に限定するものではなく、周期 a は上記周波数帯の電磁波の波長程度(例えば、電磁波の波長の2分の1程度)の周期であればよい。

[0034] 本発明は、このようなフォトニック結晶内での共振器での電磁波の共振現象を利用して、対象物質の濃度検出を行うものであり、測定の対象物質の種類によって、異なるメカニズムで濃度検出を行う。対象物質は、大別して、以下の2つに分類することができる。

1) 特定の波長の電磁波を吸収する性質が顕著なもの。

2) 雰囲気屈折率を変化させる性質が顕著なもの。

[0035] 本発明では、測定対象物質に応じて上の2つの性質を利用するものであり、先ず1)の性質を利用した濃度検出を実現した第1実施形態について説明する。

[0036] <第1実施形態>

本実施形態では、対象物質が吸収する特定波長の電磁波を共振器で共振させ、その出力の減衰率から対象物質の濃度を測定する。対象物質としては、特定の波長の電磁波を吸収する性質が顕著なもの、例えば、炭酸ガスや窒素ガスなどのガスが適用される。

- [0037] 図1〜2は、本実施形態に係るセンサーを示し、フォトニックセンサー要素20には、特定波長を含む電磁波、例えば、 $2\mu\text{m}$ 〜 $13\mu\text{m}$ の波長を含む赤外線を導くセンサー導波路22とリファレンス導波路32、これらの導波路と電磁結合されるセンサー共振器24とリファレンス共振器34が形成され、各共振器は上記の特定波長(対象物質にて吸収される)の電磁波を共振させるように設計される。センサー共振器24やセンサー導波路22は、対象物質を含む雰囲気に出露して、対象物質の存在によって吸収された電磁波の強度を測定する。一方、リファレンス導波路32やリファレンス共振器34は、シールド36によって対象物質を含む雰囲気から遮蔽されて、電磁波の基準強度を求め、2つの強度の差から電磁波の減衰率を求め、この減衰率から対象物質の濃度を決定する。
- [0038] この機能を達成するために、本実施形態に係るセンサーには、フォトニックセンサー要素20へ供給するための電磁波発生源10、電磁波をセンサー導波路22とリファレンス導波路32とに分岐させる分配器11、センサー共振器24から放出される電磁波の強度を検出する出力強度計41、リファレンス共振器34から放出される電磁波の強度を検出するリファレンス強度計51、両強度計で求められる電磁波強度の差から電磁波の減衰率を求めて対象物質の濃度を決定する濃度計42が備えられる。これらの出力強度計41、リファレンス強度計51、濃度計42は検出器40と総称され、単一のマイクロプロセッサ内に実現される。検出器40は濃度計42で求めた濃度を示す濃度信号をディスプレイ60に出力して、対象物質の濃度表示を行う。
- [0039] センサー導波路22やリファレンス導波路32は、フォトニックセンサー要素10の長さ方向の全長に沿って一直線に延出し、長さ方向の一端を入力ポート21、31とし、他端をそれぞれ出力ポート23、33としている。入力ポート21、31にはそれぞれ入射器12が結合されて、電磁波発生源からの電磁波を各導波路へ導入する。出力ポート23、33はそれぞれ、出力強度計41とリファレンス強度計51に結合されて、センサー共振器24やリファレンス共振器34から放出される特定波長の電磁波をこれらの強度計へ出力する。センサー共振器24やリファレンス共振器34は、各導波路内の長手方向の中央に形成され、共振器で共振する電磁波を出力ポート23、33へ伝搬する。各強度計41、51は、対応する各共振器24、34で共振する電磁波の強度を示す検

出信号とリファレンス信号を出力し、濃度計42は出力強度計41からの検出信号とリファレンス検出器からのリファレンス信号の差から、対象物質の存在によって生じる電磁波強度の減衰率を求める。この減衰率(L)は、次の式1で表される。

[0040] [数1]

$$L = \frac{I_{ref} - I_{out}}{I_{ref}} \quad (\text{式1})$$

[0041] ここで、Irefはリファレンス強度計51の出力、Ioutは出力強度計41からの出力である。

このようにして求めた減衰率(L)と、対象物質の吸収係数との間には、図3に示すような関係が認められ、吸収係数は雰囲気中における対象物質の濃度に対応するものであり、検出器40には減衰率と濃度との関係を示す式が用意されているため、減衰率から対象物質の濃度が濃度計42において決定される。

尚、電磁波の出力強度は、以下の式2で決定される。

[0042] [数2]

$$I_{out} = \frac{1}{\left(1 + \frac{Q_{in}}{2Q_a}\right)} \quad (\text{式2})$$

[0043] Qinは共振器と導波路との間の光の結合強度によって決まるQ値で、Qaは共振器内部で吸収により失われるエネルギー量によって決まるQ値である。更に詳しく説明すれば、共振器と導波路との間のQ値をQin、共振器での吸収によるQ値をQaとし、共振器と自由空間との間のQ値をQyとし、Qy ≫ Qinとしている。なお、Qinは、共振器と導波路との系において共振器から導波路へ漏れるエネルギーの量に関係する値(つまり、共振器と導波路との系において共振器にどの程度のエネルギーを蓄えることができるかを示す値)であって、共振器に蓄積されるエネルギーをW、共振器から導波路側へ単位時間に失われるエネルギーを-dW/dtとすれば、 $Q_{in} = \omega_0 \times W / (-dW/dt)$ と定義される。また、Qaは、共振器内部で吸収により失われるエネルギーの量に関係する値であって、共振器に蓄積されるエネルギーをW、共振器での吸収

により単位時間に失われるエネルギーを $-dW/dt$ とすれば、 $Q_a = \omega_0 \times W / (-dW/dt)$ により定義され、共振器24の有効屈折率を n_m 、共振器の吸収係数を α 、真空中の光速を c とすれば、 $Q_a = (\omega_0 \times n_m) / (\alpha \times c)$ と表すことができる。

ところで、電磁波の出力強度は、ドロップ効率(D)として知られており、次式で表されるように、入力ポートに入力される電磁波強度 S_{+1} と出力ポートから出力される電磁波強度 S_{-2} との比で表される。

[0044] [数3]

$$D = \left| \frac{S_{-2}}{S_{+1}} \right|^2 \quad (\text{式3})$$

[0045] 尚、図2に示す方式では、電波発生源10から出力される電磁波の強度をモニターして、フィードバック制御によりこの出力強度を一定にするコントローラ70を設けており、外乱による変動を補償して、常に安定した測定を行うようにしている。

[0046] フォトニックセンサー要素としては、図1に示す構成の他に、図4ー図9に示すものを使用することが可能である。これらの図では、簡略化のために、センサー導波路22、センサー共振器24に関する構造のみを説明しているが、リファレンス導波路やリファレンス共振器に関しても同様の構成を適用できる。

[0047] 図4に示すフォトニックセンサー要素20では、センサー導波路22中に複数のセンサー共振器24を形成して、センサー導波路の長手方向の両端をそれぞれ電磁波の入力ポート21と出力ポート23としている。各センサー共振器24は同一の特定波長の電磁波が共振するように設計され、対象物質との接触機会を増大させることで、対象物質の検出感度を高めるようにしている。

[0048] 図5に示すフォトニックセンサー要素20では、ヒータ80を一体に形成しており、ヒータ80による温度制御によってフォトニックセンサー要素の光学特性を一定に保持することで、正確な対象物質の濃度測定を行うことができる。この温度制御は、温度センサーを使用し、図2に示すコントローラによって行われる。ヒータ80はこの目的以外に、センサー共振器に付着した対象物や不純物を熱によって放散させるために使用でき、適宜のタイミングでヒータによる加熱を行うことで、センサー要素をリフレッシュでき

る。また、ヒータとしてはペルチェ素子を利用したものが好ましい。

- [0049] 更に、上述のヒータは導波路部を導波する電磁波の波長もしくは強度を変調する変調手段として利用することができる。すなわち、ヒータへ一定の周期で通電することにより、共振器から放出される電磁波の強度、又は波長を周期的に変調させ、検出器で検出した電磁波の内、変調された電磁波のみを分析器で選択することにより、共振器以外から検出器に到達する、ノイズの電磁波と識別し、測定精度を向上することができる。尚、変調手段はヒータに限らず、例えば、電磁波発生源から出力される電磁波の波長変調や強度変調を行えるものであればよく、例えば、電磁波発生源の出力を周期的に遮断するためのチョッパ回転板と当該チョッパ回転板の駆動モータとで変調手段を構成して、駆動モータを上記制御回路にて制御するようにしても良い。
- [0050] 図6に示すフォトニックセンサー要素20では、センサー導波路が2本の互いに平行に走る入力導波路22Aと出力導波路22Bとで構成される。センサー共振器24は、入力導波路22Aと出力導波路22Bとの中間に形成され、入力導波路22Aの一端の入力ポート21から入力された電磁波から特定波長の電磁波を取り込んでここで共振させる。この電磁波は出力導波路22Bに伝搬してその長手方向の一端に形成した出力ポート23から検出器へ出力される。
- [0051] 図7に示すフォトニックセンサー要素20では、センサー導波路22の長手方向両端で入力ポート21と出力ポート23を規定し、センサー導波路22からフォトニックセンサー要素20の幅方向に沿って離れた箇所、即ち、センサー導波路の長手方向と直交する方向に離れた箇所に、センサー共振器24を形成し、センサー共振器24から放出される電磁波が出力ポート23へ経て検出器に出力される。
- [0052] 図8に示すフォトニックセンサー要素20では、センサー共振器24からフォトニックセンサー要素20の厚み方向に電磁波を放出させるように設計し、センサー共振器24の上方に配置する検出器と電磁的に結合するようにしている。
- [0053] 上記の実施形態においては、センサー導波路22とセンサー共振器24と検出器40とで構成する一つの検出ユニットで一種類の対象物質の濃度測定を行っている。このため、異なる対象物質に対応させて複数の検出ユニットを設ければ、異なる対象物質の濃度測定を行うことができる。この場合、一つのフォトニックセンサー要素内に

、異なる波長の電磁波を共振させる複数のセンサー共振器とこれに対応する複数のセンサー導波路が形成される。

[0054] <第2実施形態>

図9は、本発明の第2実施形態を示す。本実施形態では、センサー共振器24とリファレンス共振器34へ単一の入力ポート21を介して電磁波発生源10からの電磁波を供給するように設計されたフォトニックセンサー要素20の構成を示す。このフォトニックセンサー要素20では、互いに異なる結晶構造となった第1フォトニック結晶構造PC1と第2フォトニック結晶構造PC2が形成される。即ち、2つの結晶構造では、屈折率を変化させる微少の円形孔が互いに異なる周期で2次元配列されることで、異なる波長の電磁波を選択的に伝搬させる構造となる。センサー導波路は、2つの結晶構造PC1、PC2に跨って延出する一本の入力導波路22Aと、各結晶構造に固有の2本の出力導波路22B1、22B2とで構成され、各結晶構造PC1、PC2内に、それぞれ入力導波路22Aと出力導波路22B1、22B2とに電磁氣的に結合するセンサー共振器24とリファレンス共振器34が形成される。各フォトニック結晶構造PC1、PC2は、互いに異なる波長の電磁波が各共振器24、34で共振するように設計される。即ち、第1フォトニック結晶構造PC1では対象物質が吸収する第1波長($\lambda 1$)の電磁波で共振し、第2フォトニック結晶構造PC2ではそれ以外の第2波長($\lambda 2$)で共振するように設計されて、図1や図2で示すものと同様の検出器40を用い、第1波長($\lambda 1$)の電磁波の強度を出力強度計41で検出し、第2波長($\lambda 2$)の電磁波の強度をリファレンス強度計51で検出する。濃度計42は、第2波長($\lambda 2$)の電磁波強度と第1波長($\lambda 1$)の電磁波強度とを比較して、第1波長($\lambda 1$)の電磁波強度の減衰率を求め、これに基づいて第1の実施形態と同様にして、対象物質の濃度を計算する。

[0055] 本実施例においては、センサー共振器24で共振する電磁波の第1波長($\lambda 1$)を対象物質が吸収する電磁波の波長としており、リファレンス共振器34で共振する電磁波の第2波長($\lambda 2$)を第1波長と異なるように設定しているため、リファレンス共振器34で共振する電磁波は対象物質の影響を受けることがない。従って、リファレンス共振器34を対象物質が含まれる雰囲気から遮蔽する必要がない。

[0056] <第3実施形態>

図10と図11に示す実施形態は、雰囲気屈折率を変化させる性質が顕著な対象物質の測定のために実現された方式を開示する。この場合の対象物質としては、例えば、水蒸気、アルコールなどがあり、対象物質の存在によりセンサー共振器の周囲の屈折率が変わることによってセンサー共振器で共振する波長がシフトする現象を利用して、対象物質の濃度測定を行う。図12は、対象物質が示す屈折率とそれによって決まる共振器内で生じる電磁波の波長との関係を示す。従って、対象物質によって決まる特定波長で共振するようにセンサー共振器を設計しておくことで、対象物質の濃度をセンサー共振器24から放出される出力強度の変化として捉えることができる。

- [0057] このため、本実施形態では、特定波長を含む広帯域の電磁波を、センサー導波路22へ導入し、センサー共振器24から出力される電磁波から、対象物質に固有の特定波長の電磁波の強度を選択的に取り出して、この強度に基づいて対象物質の濃度が計算される。図に示す実施形態のフォトニックセンサー要素20では、センサー導波路が2本の平行に走る入力導波路22Aと出力導波路22Bとで構成され、両導波路間にセンサー共振器24が形成される。このセンサー共振器24は対象物質を含む雰囲気に露出し、目的とする対象物質に接触すると、入力導波路22Aの長手方向一端の入力ポート21で導入された電磁波の内、対象物質に固有の波長の電磁波が共振器24で共振して、共振する電磁波が出力導波路22Bの一端の出力ポート23を介して、検出器40へ出力される。
- [0058] この検出器40は分光分析機能を有し、対象物質によって決まる特定波長の電磁波を分光により選択して、その電磁波強度を求め、対象物質の濃度をこの電磁波強度に比例するものとして決定して、対象物質の濃度を示す濃度信号を出力する。ディスプレイ60はこの濃度信号を受けて濃度を表示する。
- [0059] 電磁波発生源10は、対象となる物質によって決まる波長を含む広帯域の電磁波、例えば、 $2\mu\text{m}$ ～ $13\mu\text{m}$ の波長を含む赤外線を供給する。
- [0060] 図13～20は、上述した第3実施形態に使用するフォトニックセンサー要素20についての数々の変更態様を示す。
- [0061] 図13～15の変更態様では、センサー共振器24の上に、対象物質に吸着または反

応してセンサー共振器24内で共振する電磁波の波長を変化させる感応体80を配置している。感応体80は、対象物質に応じた波長シフトを積極的に起こさせるまたは強化するためのものであり、対象物質の存在により共振器24周囲の屈折率を大きく変動させる材料で構成される。例えば、対象物質を水分子とした湿度センサーを実現する場合は、 SiO_2 やポリマーのような水を吸着する材料が使用され、対象物質を生態物質としたバイオセンサーを実現する場合は、カルボキシレートのようなレセプタが材料として使用される。図14中のMは感応体80へ吸着された対象物質の分子を模式的に示す。

[0062] 図16～18の変更態様では、フォトニックセンサー要素20内に、2つの共振器24Aと24Bを形成し、一方の共振器24Aにのみ上の感応体80を設けている。対象物質が存在すると、一方の共振器24Aで共振する電磁波の波長が他方の共振器24Bで共振する電磁波の波長とずれることになり、両共振器間の電磁結合力が弱くなり、その結果、検出器40に出力される電磁波の強度が変化する。検出器40はこの電磁波強度の変化を認識して、その変化度合いに応じた対象物質の濃度を決定する。検出器40では、感応体を設けた共振器で共振する電磁波の出力強度の変化に基づいて濃度決定を行っているが、これに変えて感応体を設けていない共振器で共振する電磁波の出力強度を対象としても良い。

[0063] 図16の変更態様では、2本の入力導波路22Aと出力導波路22Bの間に、2つの共振器24A、24Bをフォトニックセンサー要素20の幅方向に並べて配置した例を示す。図17の変更態様は一本の導波路22の外側に導波路22の長手方向に沿って2つの共振器24A、24Bを配置した例を示す。図18の変更態様では、一本の導波路22の中央に、2つの共振器24A、24Bを並べて配置した例を示す。

[0064] 図19の変更態様では、一つのフォトニックセンサー要素20内に、導波路22と共振器24との組を複数形成し、各組に応じて、電磁波発生源10と検出器40とを設けている。各共振器24は互いに異なる波長の電磁波を共振させるように設計されて、複数種類の対象物質の濃度測定が行われる。この場合、少なくとも一つの共振器24に上述の感応体を設けることが可能である。

[0065] 図20の変更態様では、一つのフォトニックセンサー要素20内に複数の互いに平行

な導波路22を一方向に沿って形成すると共に、複数の共振器24を2次元面内で縦横に配列して面センサーを形成している。各導波路22は単一の電磁波発生源10からの電磁波が供給され、各共振器24にはそれぞれ検出器40が結合される。検出器40も同様に2次元面内で配列されてフレーム90にて支持される。各検出器40は共振器24が配列された平面と直交する方向に離間して配置されて、各共振器24から放出される電磁波が検出器40に出力される。各共振器24は隣接する導波路22と電磁的に結合して、互いに異なる波長の電磁波を共振させるように設計され、面内での屈折率の変化、即ち、面内での対象物質の変化が認識できる。即ち、異なる共振器24から出力される電磁波強度が異なる対象物質についての濃度を表すことになり、例えば、対象物質が起こす反応の進行度合いを検出することができる。このため、濃度の検出以外にも、面内での異なる対象物質の分布を得ることができる。尚、複数の共振器24が同一の波長の電磁波を共振させるように設計すれば、特定する対象物質の面内での濃度分布を得ることができる。また、本変更態様では、共振器に感応体を付設することも可能である。

[0066] <第4実施形態>

図21、22は本発明の第4の実施形態を示す。この実施形態は基本的に第3の実施形態と同一であるが、電磁波発生源10として可変波長の電磁波を供給するものを用い、波長スイープを行って時間と共に波長が変化する電磁波をフォトニックセンサー要素20に導入する。波長のスイープ範囲は、対象物質が示す屈折率によって決まる特定波長を含むように設定され、その特定波長の電磁波が電磁波発生源10から導入された時点での、共振器24からの電磁波強度を検出器40で求めることで、対象物質の濃度が測定できる。このため、本実施形態では、スイープコントローラ46が設けられて、電磁波発生源10からの波長と時間と共に変化させると同時に、検出器40における電磁波出力の読み出しタイミングを波長の変化に同期させている。濃度測定においては、対象物質に対応する特定波長と異なる波長の電磁波の出力強度をリファレンス強度として記憶しておき、対象物質に対応する特定波長の電磁波の出力強度をこのリファレンス強度と比較することで対象物質の濃度が計算に基づいて求められる。この構成によれば、波長のスイープ範囲内でのいろんな波長において

、それぞれ個別に電磁波強度を分析できるため、異なる種類の対象物質についての濃度を求めることが可能となる。この実施形態において使用されるフォトニックセンサー要素20の構成は、図21に示す構成の他、図5〜8、図13〜18に示す構成のものが適用できる。

[0067] 更に、上述したような共振器から放出される電磁波強度を周期的に変調させる、あるいは電磁波発生源から共振器に供給される電磁波強度を周期的に変調することで測定精度を高める構成を本実施形態に適用することが可能である。

[0068] <第5実施形態>

図23は本発明の第5の実施形態を示す。この実施形態では、フォトニックセンサー要素20内での共振器24を通過する電磁波経路内に上述した感応体80を配置している。感応体80が対象物質を吸着したりこれと反応すると、電磁波経路(エネルギー結合路)での電磁結合効率、すなわち、実効導波路長が変化することに起因して、検知器40で検出される電磁波の強度が変化するため、この電磁波強度の変化に基づいて対象物質の濃度が測定される。この実施形態においては、両端を入力ポート21と出力ポート23とする導波路22の中央部に感応体80を形成し、導波路22の中央に対応して形成した共振器24との電磁結合強度とを、対象物質の存在により変化させる構成としている。

[0069] 図24は第5実施形態の変更態様を示し、フォトニックセンサー要素20内において導波路22と平行に配置した2つの共振器24の間に感応体80を形成して、2つの共振器間の電磁結合効率の変化によって対象物質の濃度を検出している。

[0070] 図25は第5実施例の変更態様を示し、フォトニックセンサー要素20内において、2本の平行な入力導波路22Aと出力導波路22Bとの間に配置した2つの共振器24の間に感応体80を形成して、2つの共振器間の電磁結合効率の変化によって対象物質の濃度を検出している。

[0071] <第6実施形態>

図26は、本発明の第6の実施形態を示す。この実施形態で使用するフォトニックセンサー要素20では、互いに異なる結晶構造となった第1フォトニック結晶構造PC1と第2フォトニック結晶構造PC2が連続して形成される。これら2つの結晶構造では、屈

折率を変化させる微少の円形孔が互いに異なる周期で2次元配列されることで、異なる波長の電磁波を選択的に伝搬させる構造となる。入射導波路22A及び出力導波路22Bは第1フォトニック結晶構造PC1と第2フォトニック結晶構造PC2とに跨って形成され、第1結晶構造PC1の一端において入力導波路22Aに電磁波の入力ポート21が形成され、出力導波路22Bに電磁波の出力ポート23が形成される。共振器24は第1フォトニック結晶構造PC1内で入力導波路22Aと出力導波路22Bとの間に配置され、両者と電磁的に結合している。この共振器24は特定波長の電磁波が共振できるように設計される。

[0072] 入力導波路22Aにおける、第1フォトニック結晶構造PC1と第2フォトニック結晶構造PC2との界面では、共振器で共振する特定波長の電磁波のみを反射して、残りの波長成分は通過させる入力反射部25Aが形成される。同様に、出力導波路22Bにおける、第1フォトニック結晶構造PC1と第2フォトニック結晶構造PC2との界面では、共振器24で共振する特定波長の電磁波のみを反射して、残りの波長成分は通過させる出力反射部25Bが形成される。このような反射部は、第1フォトニック結晶構造PC1と第2フォトニック結晶構造PC2とでの周期構造が異なることによって形成され、共振器24で共振が許された特定波長の電磁波が入力導波路22Aから共振器24へ伝搬する効率、及び共振器24で共振を起こす特定波長の電磁波が出力導波路22Bを経て検出器40へ出力される効率を向上させる。

[0073] 入力導波路22A及び出力導波路22Bには、上で説明した感応体80が、第1フォトニック結晶構造PC1と第2フォトニック結晶構造PC2とに跨る部分に形成され、対象物質と反応した時に、両結晶構造の界面の性能を変化させることで、入力反射部25Aや出力反射部25Bでの機能を変化させ、共振器24で共振する特定波長の電磁波の反射機能が大幅に低下する。従って、感応体80が対象物質の存在を認めると、出力導波路22Bから出力される特定波長の電磁波強度が低下することになり、その電磁波強度の変化から対象物質の濃度が計算できる。即ち、検出器40に入力される電磁波強度からはドロップ効率(D)が求められ、このドロップ効率から濃度が求められる。ドロップ効率(D)とは、上記の式3で表される、入力電磁波強度 S_{+1} と出力電磁波強度 S_{-2} との比である。

[0074] このドロップ効率Dはまた次式で表される。

[0075] [数4]

$$D = \left| \frac{S_{-2}}{S_{+1}} \right|^2 = \frac{4 \left\{ Q_{inb} / (1 + \cos \theta_1) \cdot Q_{inr} / (1 + \cos \theta_2) \right\}}{4 \left(\frac{\omega - \omega'_0}{\omega_0} \right)^2 + \left\{ \frac{1}{Q_v} + \frac{1}{Q_{inb} / ((1 + \cos \theta_1))} + \frac{1}{Q_{inr} / ((1 + \cos \theta_2))} \right\}^2} \quad (式4)$$

[0076] [数5]

$$\theta_1 = 2\beta_1 \times d_1 + \Delta_1 \quad (式5)$$

[0077] [数6]

$$\theta_2 = 2\beta_2 \times d_2 + \Delta_2 \quad (式6)$$

[0078] [数7]

$$Q_{inb} = \omega_0 \times W / (-dW/dt) \quad (式7)$$

[0079] [数8]

$$Q_{inb} = \omega_0 \times W / (-dW/dt) \quad (式8)$$

[0080] [数9]

$$\omega'_0 = \omega_0 \left(1 + \frac{\sin \theta_1}{2Q_{inb}} + \frac{\sin \theta_2}{2Q_{inr}} \right) \quad (式9)$$

[0081] 上式中、

d_1 は、入力導波路22Aの長手方向に沿った共振部24と入力反射部25Aとの距離、

d_2 は、出力導波路22Aの長手方向に沿った共振部24と出力反射部25bとの距離、

β_1 は、入力導波路22Aの伝搬定数、

β_2 は、出力導波路22Bの伝搬定数、

Δ_1 は、入力反射部25Aによって反射される電磁波の反射位相変化、

Δ_2 は、出力反射部25Bによって反射される電磁波の反射位相変化、

θ_1 は、入力反射部25Aによって反射されて共振器24近傍までに戻る電磁波の位相変化量、

θ_2 は、出力反射部25Bによって反射されて共振器24近傍までに戻る電磁波の位相変化量、

ω_0 は、共振器24での共振周波数、

Q_{inb} は、共振器24と入力導波路22Aとの間のQ値、

Q_{inr} は、共振器24と出力導波路22Bとの間のQ値、

W は、共振器24に蓄積されるエネルギー、

dW/dt は、共振器24から入力導波路22Aへ単位時間に失われるエネルギー、共振器から出力導波路22Bへ単位時間に失われるエネルギーである。

本実施形態におけるフォトニックセンサー要素20は、 SiO_2 の基板上に積層したシリコン半導体層に多数の微少な円形孔を形成してフォトニック結晶構造を実現し、共振器24は円形孔を無くした欠陥、即ち、円形孔がシリコンで充填されることで形成されたドナー型欠陥であることから、自由空間への放射損失が少なく高い Q_v が得られ、 $Q_{inb}/(1+\cos\theta_1) \ll Q_v$ となるので、上記の式(4)中の $1/Q_v$ の項を0として無視することができる。

このため、 $Q_{inb}/(1+\cos\theta_1) = Q_{inr}/(1+\cos\theta_2)$ 、 $\theta_1, \theta_2 \neq 2N\pi$ ($N=0, 1, \dots$) の関係を満たすように各パラメータ $d_1, d_2, \beta_1, \beta_2, \Delta_1, \Delta_2, \theta_1, \theta_2, Q_{inb}, Q_{inr}, Q_v$ を設定することで、検出対象物質の影を受けない時のドロップ効率 D を略1(つまり、略100%)とすることが可能となり、対象物質の影響を受けた時の泥婦効率との差異を大きくとることができて、高感度な濃度測定が可能となる。

尚、上記の各実施形態においては、フォトニックセンサー要素として、シリコン半導体のフォトニック結晶を使用したか、本発明は必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、GaAs、InPのような各種の材料のフォトニック結晶が適用できる。

[0082] また、電磁波発生源からフォトニックセンサー要素へ供給する電磁波の波長は検出対象物質に応じて適宜設定すればよく、使用する電磁波としては、C帯(1530nm～1565nm)やL帯(1565nm～1625nm)などの光通信波長帯のものが、対象物質に応じて適宜に使用できる。更に、電磁波発生源10としては、例えば、光通信波長

帯の電磁波を発生する光源として、発光ダイオード、半導体レーザ、ハロゲンランプ、ASE (Amplified Spontaneous Emission) 光源、SC (supercontinuum) 光源などを用いることができ、中近赤外波長帯の電磁波を発生する場合は、シリコン基板などをマイクロマシニング技術により加工して形成した矩形棒状の支持基板の一表面側において2点間に線状の発熱体を架け渡した所謂マイクロブリッジ構造の赤外線放射素子のような黒体放射の光源などを用いることができる。

- [0083] 上述した実施形態においては、予め設定した対象物質の濃度を検出するための構成を開示したが、本発明は必ずしもこれのみに限定されるものではなく、フォトニクセンサー要素から出力される電磁波強度の変化を分析して、対象物質の種類の特定や対象物質の特性を検出することにも適用できるものである。
- [0084] また、本実施形態では、ガスセンサー、湿度センサー、バイオセンサーとして利用した例を開示したが、本発明はこれのみに限定されるものではなく、イオンセンサーなどその他の物質を検出するセンサーとして使用できる。
- [0085] 本出願は、2004年3月24日で出願された日本特許出願2004-87666号を優先権主張するものであり、この日本出願で開示される全ての内容を併合するものである。

請求の範囲

- [1] 対象物質の特性を検出するセンサーであって、以下の構成を備える
電磁波を供給する電磁波発生源、
フォトニックセンサー要素、このフォトニックセンサー要素はフォトニック結 晶構造を
有し、上記の電磁波を導入するセンサー導波路と、このセンサー 導波路に電磁的
に結合して導入された電磁波を特定波長で共振させるセン サー共振器とを備え、
上記センサー共振器は対象物質を含む雰囲気中に露出されることで上記共セン
サー共振器24から放出される電磁波の特性を変化させる、
検出器、この検出器は上記共振器から放出される電磁波を受けて、上記電磁波
の強度の変化を認識し、この特性の変化から対象物質の特性を決定して対 象物
質の特性を示す信号を出力する。
- [2] 請求項1に記載のセンサーにおいて、
上記検出器は、上記の電磁波の特性の変化から対象物質の濃度を決定し、この濃
度を示す信号を出力する。
- [3] 請求項2に記載のセンサーにおいて、
上記のフォトニックセンサー要素は上記のフォトニック結晶構造内に、
リファレンス導波路と
リファレンス共振器とを有し、
上記リファレンス導波路は上記電磁波発生源から上記の電磁波を導入し、
上記リファレンス共振器は上記のリファレンス導波路に電磁的に結合して導入された
電磁波を上記の特定波長で共振させる、
上記リファレンス共振器及び上記リファレンス導波路は対象物質から隠蔽され、
上記検出器は
上記センサー共振器から放出される上記特定波長の電磁波の強度を示す検出信号
を出力する出力強度計と、
上記リファレンス共振器から放出される電磁波の強度を示すリファレンス信号を出力
するリファレンス強度計と、
上記検出信号を上記信号リファレンス信号と比較して、上記特定波長の電磁波の減

衰量を求めて、この減衰量から上記対象物質の濃度を算出する濃度計とで構成される。

- [4] 請求項3に記載のセンサーにおいて、
上記のフォトニックセンサー要素は、2次元配列のフォトニック結晶構造を有し、
上記のセンサー導波路及びリファレンス導波路はそれぞれ上記の2次元フォトニック結晶構造内で延出して両端に入力ポートと出力ポートとを形成する、
各入力ポートは上記電磁波発生源からの電磁波を受けるように配置され、
各出力ポートは上記出力強度計及びリファレンス強度計にそれぞれ結合して、センサー共振とリファレンス共振器のそれぞれから放出される電磁波を出力する。
- [5] 請求項3に記載のセンサーにおいて、
上記のフォトニックセンサー要素は、2次元配列のフォトニック結晶構造を有し、
上記のセンサー導波路及びリファレンス導波路はそれぞれ上記の2次元フォトニック結晶構造内で延出して両端に入力ポートと出力ポートとを形成する、
上記のセンサー共振器とリファレンス共振器は、それぞれセンサー導波路及びリファレンス導波路内に配置され、
各入力ポートは上記発生源からの電磁波を受けるように配置され、
各出力ポートは上記出力強度計及びリファレンス強度計にそれぞれ結合して、センサー共振とリファレンス共振器のそれぞれから放出される電磁波を出力する。
- [6] 請求項5に記載のセンサーにおいて、
複数の上記センサー共振器が、上記センサー導波路に沿って一列に並んで配置された。
- [7] 請求項3に記載のセンサーにおいて、
上記のフォトニックセンサー要素は、2次元配列のフォトニック結晶構造を有し、
上記のセンサー導波路及びリファレンス導波路はそれぞれ上記の2次元フォトニック結晶構造内で延出してその長手方向の一端に入力ポートを形成する、
各入力ポートは上記発生源からの電磁波を受けるように配置され、
上記のフォトニックセンサー要素は、センサー出力導波路とリファレンス出力導波路とを備え、

上記のセンサー出力導波路及びリファレンス出力導波路はそれぞれ対応する上記のセンサー導波路とリファレンス導波路と平行に延出して、上記のセンサー共振器とリファレンス共振器とにそれぞれ電磁結合され、

上記のセンサー出力導波路とリファレンス出力導波路はそれぞれその長手方向の一端に出力ポートを規定して、この出力ポートがそれぞれ上記の出力強度計とリファレンス強度計とに結合される。

[8] 請求項3に記載のセンサーにおいて、

上記のフォトニックセンサー要素は、2次元配列のフォトニック結晶構造を有し、

上記のセンサー導波路及びリファレンス導波路はそれぞれ上記の2次元フォトニック結晶構造内で延出してその長手方向の一端に入力ポートを形成する、

各入力ポートは上記電磁波発生源からの電磁波を受けるように配置され、

上記の出力強度計とリファレンス強度計のそれぞれが上記のフォトニックセンサー要素の平面から離間して配置されて、センサー共振器24及びリファレンス共振器とにそれぞれ結合されてそこから放出される電磁波を受ける。

[9] 請求項2に記載のセンサーにおいて、

上記のフォトニックセンサー要素は、第1フォトニック結晶構造と第2フォトニック結晶構造を有し、これらの第1、第2フォトニック結晶構造は互いに異なり、2次元配列内において横に並んで配置される、

上記導波路が第1フォトニック結晶構造から第2フォトニック結晶構造に跨って延出する入力導波路と、第1フォトニック結晶構造内で延出する第1出力導波路と、第2フォトニック結晶構造内で延出する第2出力導波路とで構成され、

上記センサー共振器が第1フォトニック結晶構造内に形成され、

上記第2フォトニック結晶構造内にリファレンス共振器が形成され、

リファレンス共振器はセンサー共振器での特定波長と異なる波長で電磁波を共振させる、

上記検出器は

上記センサー共振器から放出される上記特定波長の電磁波の強度を示す検出信号を出力する出力強度計と、

上記リファレンス共振器から放出される電磁波の強度を出力するリファレンス 強度計と、

上記検出信号を上記信号リファレンス信号と比較して、上記特定波長の電磁波 の減衰量を求めて、この減衰量の関数となる上記対象物質の濃度を計算する 濃度計と

で構成される。

[10] 請求項2に記載のセンサーにおいて、

上記発生源は異なる波長を含む電磁波を供給することで、上記センサー共振器は対象物質によって決まる上記の特定波長で上記電磁波の共振を可能とし、

上記検出器は、上記センサー共振器から放出される上記特定波長の電磁波を選択し、選択された特定波長の電磁波の強度を示す検出信号に基づいて、対象物質の濃度を計算する。

[11] 請求項2に記載のセンサーにおいて、

上記発生源は電磁波をスweepして時間と共に波長を変化させることで、上記センサー共振器が対象物質によって決まる上記の特定波長で上記電磁波の共振を可能とし、

上記検出器は、上記センサー共振器から放出される上記特定波長での電磁波の強度を取り出し、この強度に基づいて上記対象物質の濃度を計算する。

[12] 請求項10または11に記載のセンサーにおいて、

上記のセンサー導波路がセンサー共振器及び検出器とで、特定種類の対象物質を検出するための一つの検出ユニットを形成し、

上記センサーは、複数の検出ユニットを備え、それぞれのセンサー共振器は異なる種類の対象物質を検出するために、互いに異なる波長で上記電磁波を共振させる。

[13] 請求項10または11に記載のセンサーにおいて、

上記センサー共振器に感応体が設けられ、この感応体は上記対象物質と反応してセンサー共振器内で共振する波長を変化させて、上記の特定波長で電磁波を共振させる。

[14] 請求項10または11に記載のセンサーにおいて、

上記フォトニックセンサー要素は2つのセンサー共振器24を備え、
一方のセンサー共振器に、上記対象物質と反応してセンサー共振器内で共振する
波長を変化させる感応体が形成され、
上記2つのセンサー共振器は互いに電磁氣的に結合して合成電磁波を与え、これが
上記検出器に出力される。

- [15] 請求項10または11に記載のセンサーにおいて、
複数の上記センサー共振器が2次元配列で配置され、
複数の上記検出器が2次元配列で配置されて、それぞれ上記センサー共振器に結
合されて各センサー共振器からの上記の特定波長の電磁波の強度を求める、
上記の検出器は各センサー共振器のそれぞれについて対象物質の濃度を求め、上
記センサー共振器の配列に跨る濃度分布をあたえる。

- [16] 請求項1に記載のセンサーにおいて、
上記発生源は異なる波長の電磁波を供給することで、上記センサー共振器は対象
物質によって決まる上記の特定波長で上記電磁波の共振を可能とし、
複数の上記センサー共振器が2次元配列で配置され、
複数の上記検出器が2次元配列で配置されて、それぞれ上記センサー共振器に結
合されて各センサー共振器24からの上記の特定波長の電磁波の強度を求める、
複数の上記センサー共振器24はそれぞれ異なる特定波長の電磁波で共振するよう
に設定され、
複数の上記検出器は、上記センサー共振器から放出される上記特定波長の電磁波
の強度に基づいて、異なる対象物質の存在を特定することで、2次元面内での異な
る対象物質の分布を与える。

- [17] 請求項2に記載のセンサーにおいて、
上記センサー共振器は上記の特定波長の電磁波を共振させ、
上記センサー導波路において上記センサー共振器24と電磁的に結合する箇所に感
応体が設けられ、
上記感応体は対象物質と反応して上記センサー導波路とセンサー共振器との間の
実効導波路長を変化させることで、上記センサー共振器から放出される電磁波の強

度を変化させ、

上記検出器は電磁波の強度変化に基づいて対象物質の濃度を計算する。

[18] 請求項2に記載のセンサーにおいて、

2つの上記センサー共振器が上記フォトニックセンサー要素内に設けられて互いに電磁氣的に結合され、共に上記の特定波長の電磁波を共振させる、

上記2つのセンサー共振器間のエネルギー結合路に、感応体が設けられ、この感応体は、対象物質と反応して上記エネルギー結合路の実効導波路長を変化させることで、上記センサー共振器から放出される電磁波の強度を変化させる、

上記検出器は電磁波の強度変化に基づいて対象物質の濃度を計算する。

[19] 請求項1に記載のセンサーにおいて、

上記フォトニックセンサー要素は、第1フォトニック結晶構造と第2フォトニック結晶構造を有し、これらの第1、第2フォトニック結晶構造は互いに異なり、2次元配列内において横に並んで配置される、

上記センサー導波路は入力導波路と出力導波路とで構成され、これらの入力導波路と出力導波路は互いに平行に延出すると共に、それぞれが第1フォトニック結晶構造の全長に亘って延出して第2フォトニック結晶構造内に至る、

上記センサー共振器は第1フォトニック結晶構造内で上記入力導波路と出力導波路との間に配置され、

上記入力導波路の長手方向の一端で上記第2フォトニック結晶構造と離れたところに上記電磁波発生源からの電磁波を受ける入力ポートが形成され、

上記出力導波路の長手方向の一端で上記第2結晶構造と離れたところに上記センサー共振器において所定の波長で共振する電磁波を放出する出力ポートが形成され、

上記入力導波路に、第1フォトニック結晶構造と第2フォトニック結晶構造との界面で、上記の特定波長の電磁波を入力ポート側に反射する入力反射部が形成され、

上記出力導波路に、第1結晶構造と第2結晶構造との界面で、上記の特定波長の電磁波を出力ポート側に反射する出力反射部が形成され、

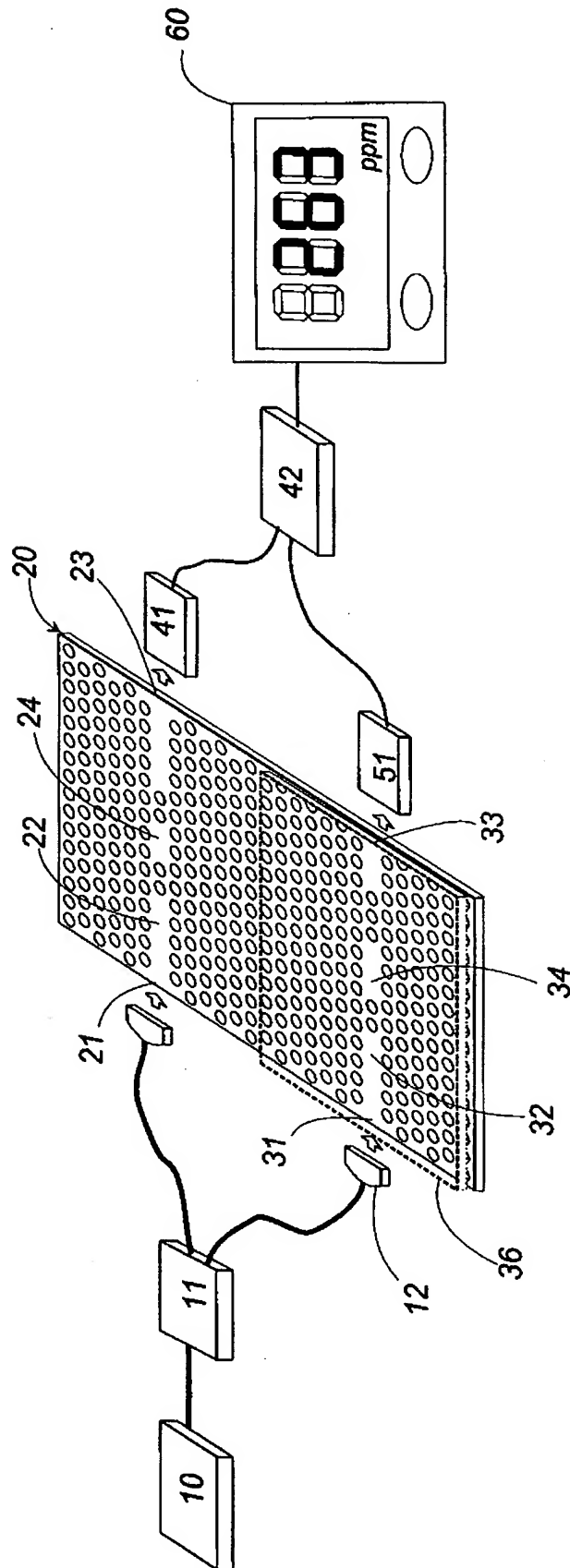
入力導波路と出力導波路のそれぞれに、第1結晶構造と第2結晶構造とに跨る部分

で、感応体が形成され、この感応体は対象物質と反応することで上記入力反射部及び出力反射部での反射効率を変化させて、その結果上記の検出器での電磁波の強度を変化させる、

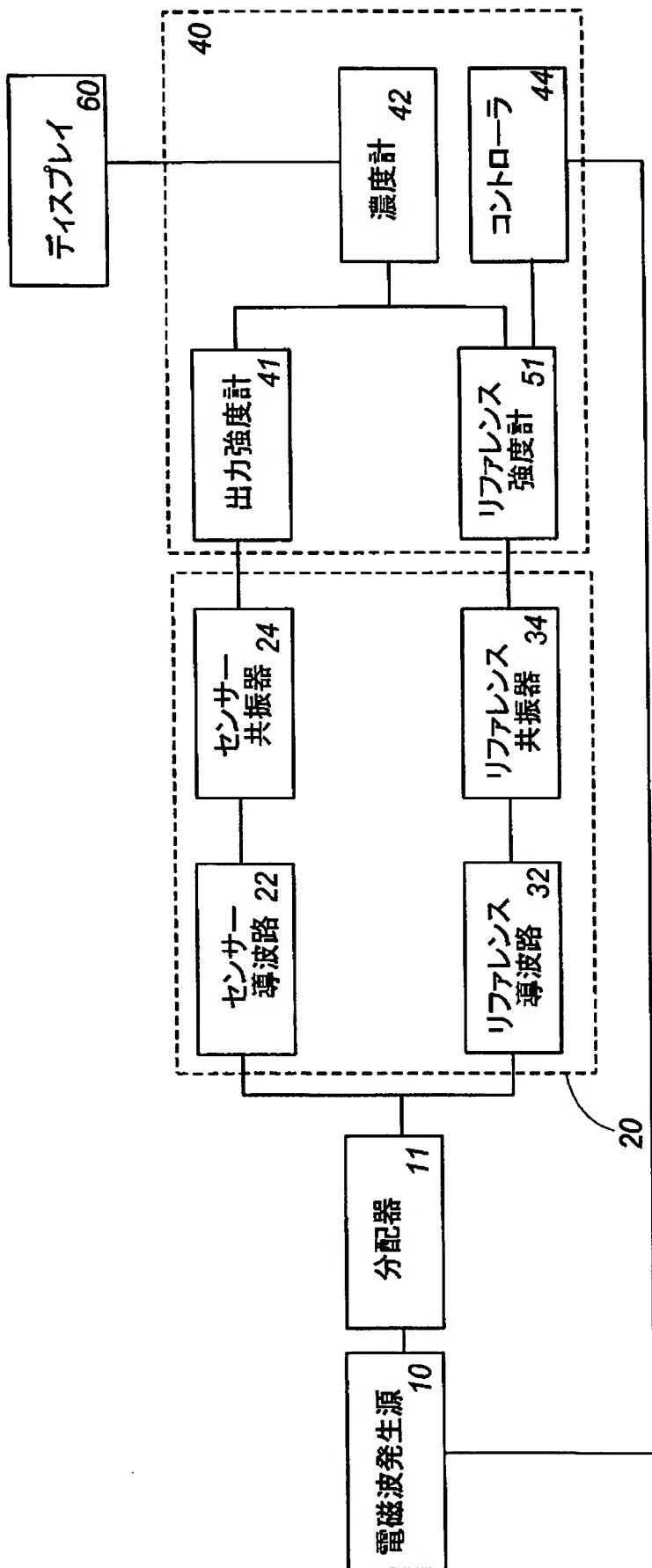
上記検出器は電磁波の強度変化に基づいて対象物質の濃度を計算する。

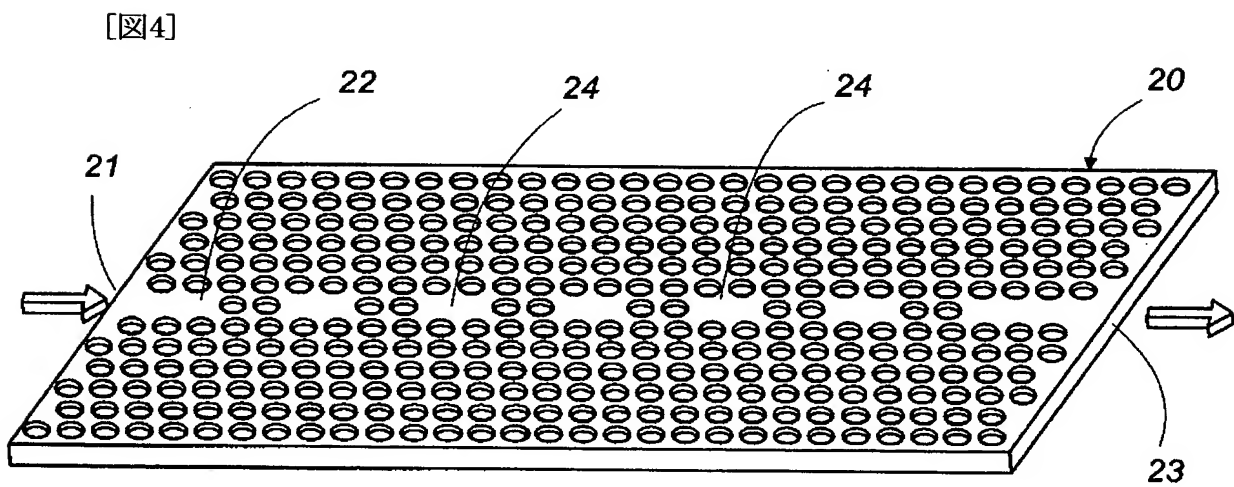
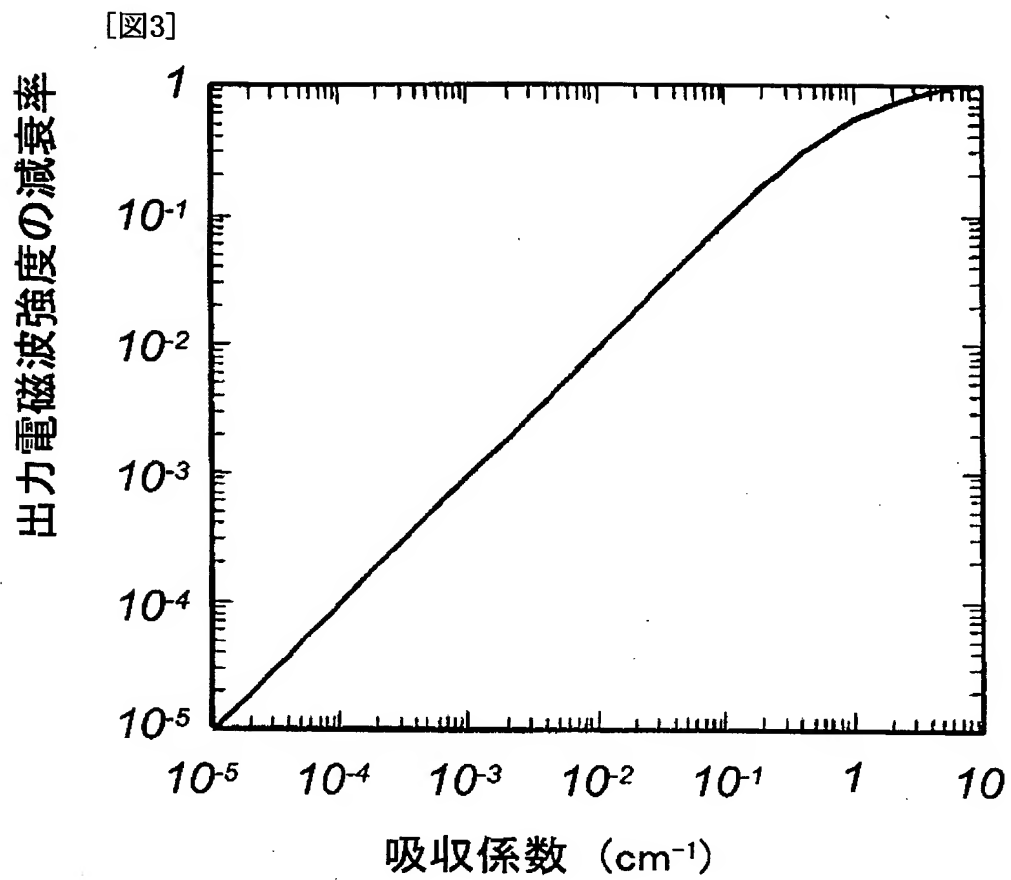
- [20] 請求項1に記載のセンサーにおいて、
環境状態を示す環境パラメータをモニターするコントローラが設けられ、
このコントローラは環境パラメータに基づいて上記センサー共振器の光学特性を補償して上記の特定波長で電磁波を共振させる。
- [21] 請求項20に記載のセンサーにおいて、
上記フォトニックセンサー要素にヒータが付設され、このヒータが上記コントローラによって作動して上記のセンサー共振器の光学特性を補償する。
- [22] 請求項1に記載のセンサーにおいて、
上記センサー共振器上に補足された対象物質乃至不純物を取り除く、リフレッシュ手段が設けられた。
- [23] 請求項22に記載のセンサーにおいて、
上記のリフレッシュ手段は上記フォトニックセンサー要素側に設けたヒータであり、熱により対象物質乃至不純物を共振器から放出させる。
- [24] 請求項1に記載のセンサーにおいて、
発生源から導波路へ供給する電磁波の波長もしくは強度を変調する変調手段が備えられる。
- [25] 対象物質の濃度を検出する方法であって、以下の過程よりなる
電磁波を導入するセンサー導波路とこれに電磁結合して特定波長の電磁波を共振させるセンサー共振器とを備えたフォトニックセンサー要素を使用し、
上記のセンサー共振器を対象物質が含まれる雰囲気中に露出させ、
上記の特定波長を含む電磁波を上記センサー導波路に導入し、
上記のセンサー共振器において共振する電磁波の強度を検出し、
上記の強度を分析して対象物質の濃度を計算する。

[図1]

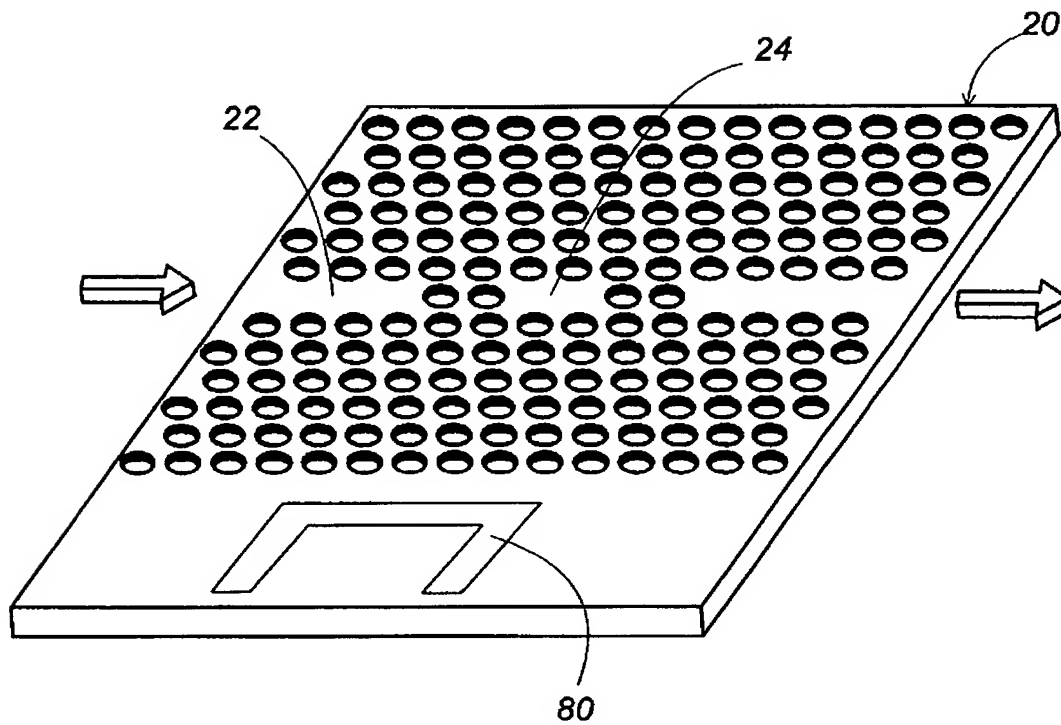


[図2]

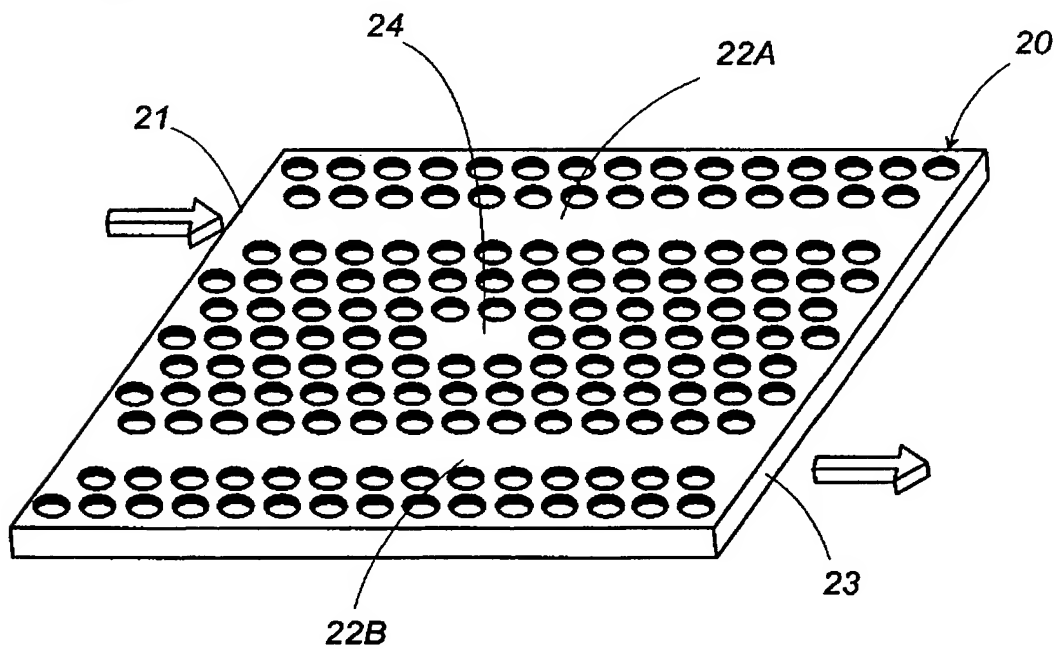




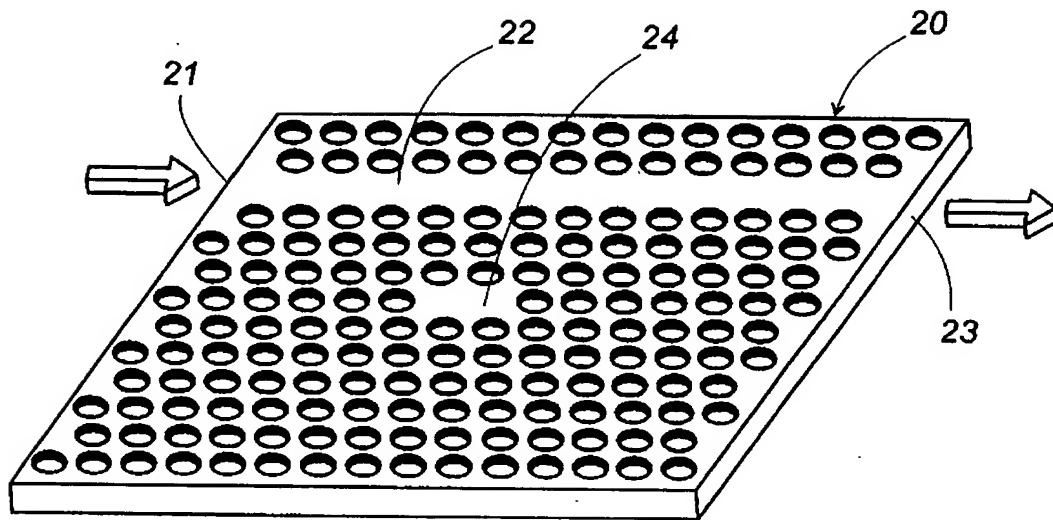
[図5]



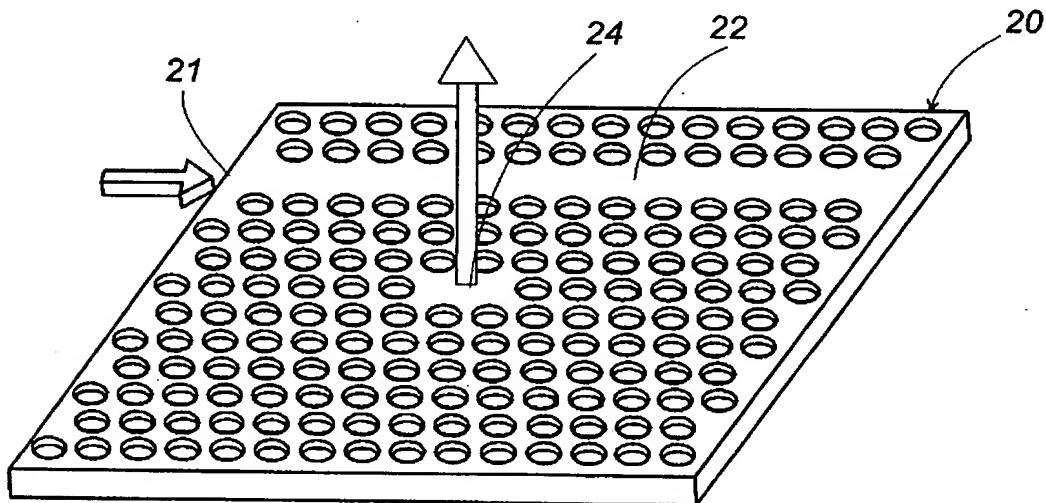
[図6]



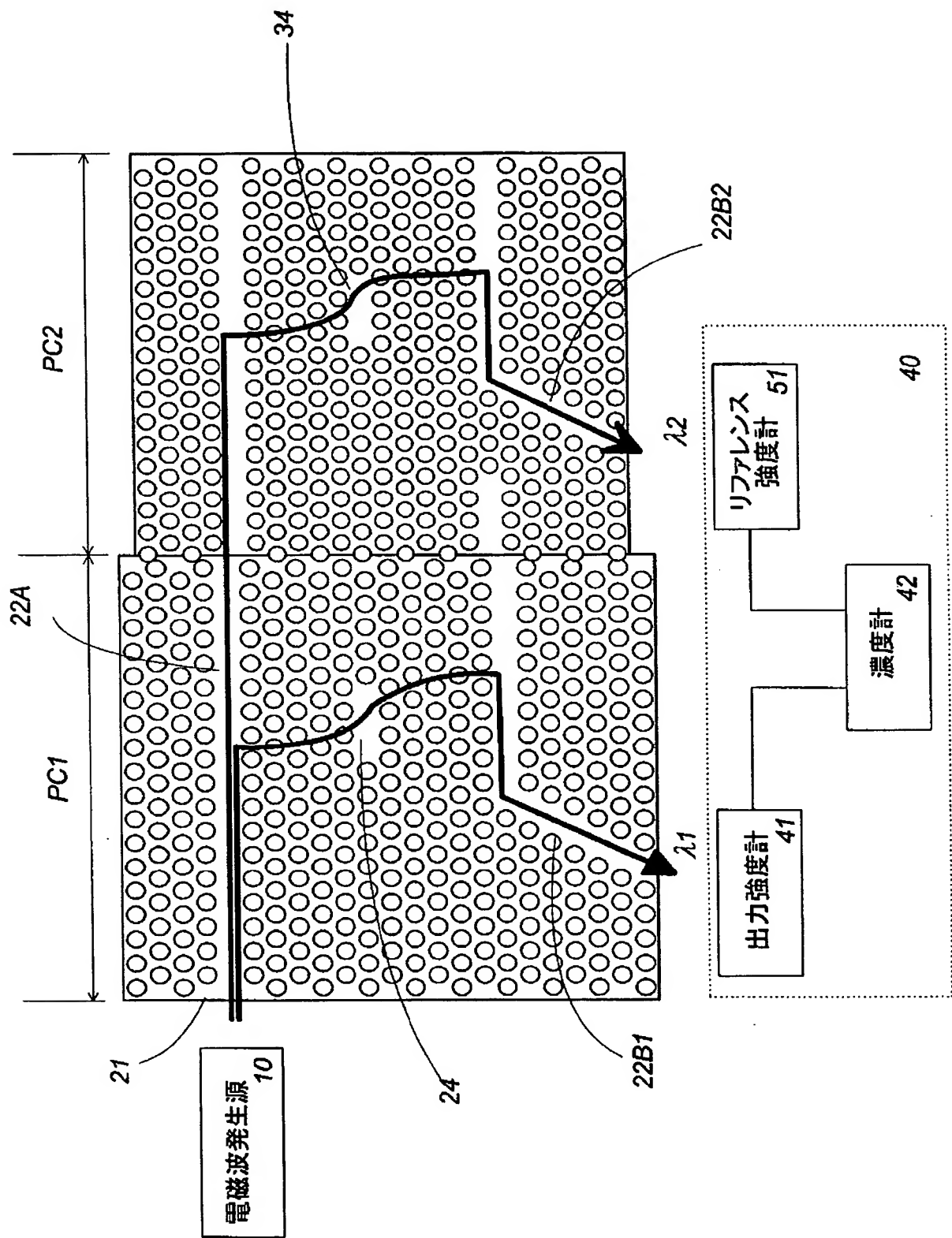
[図7]



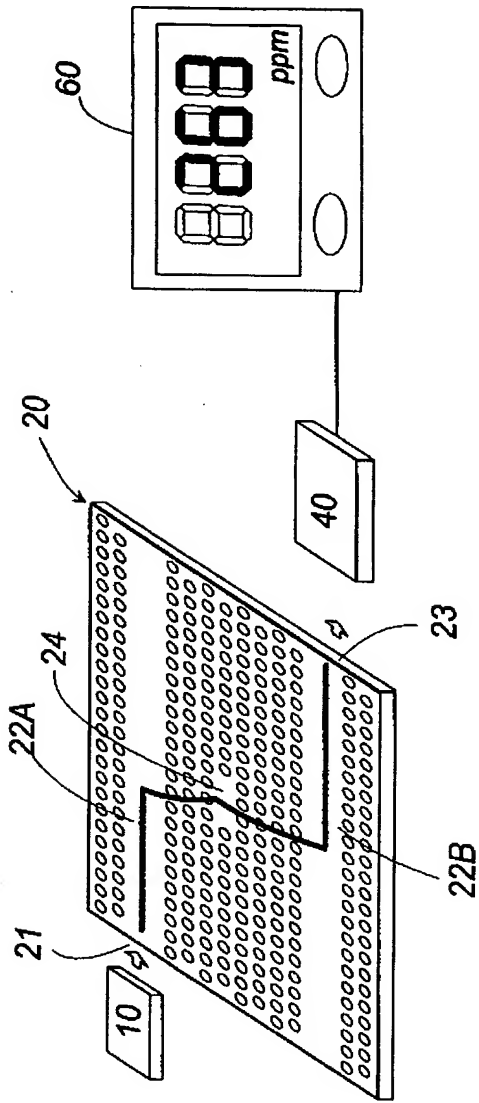
[図8]



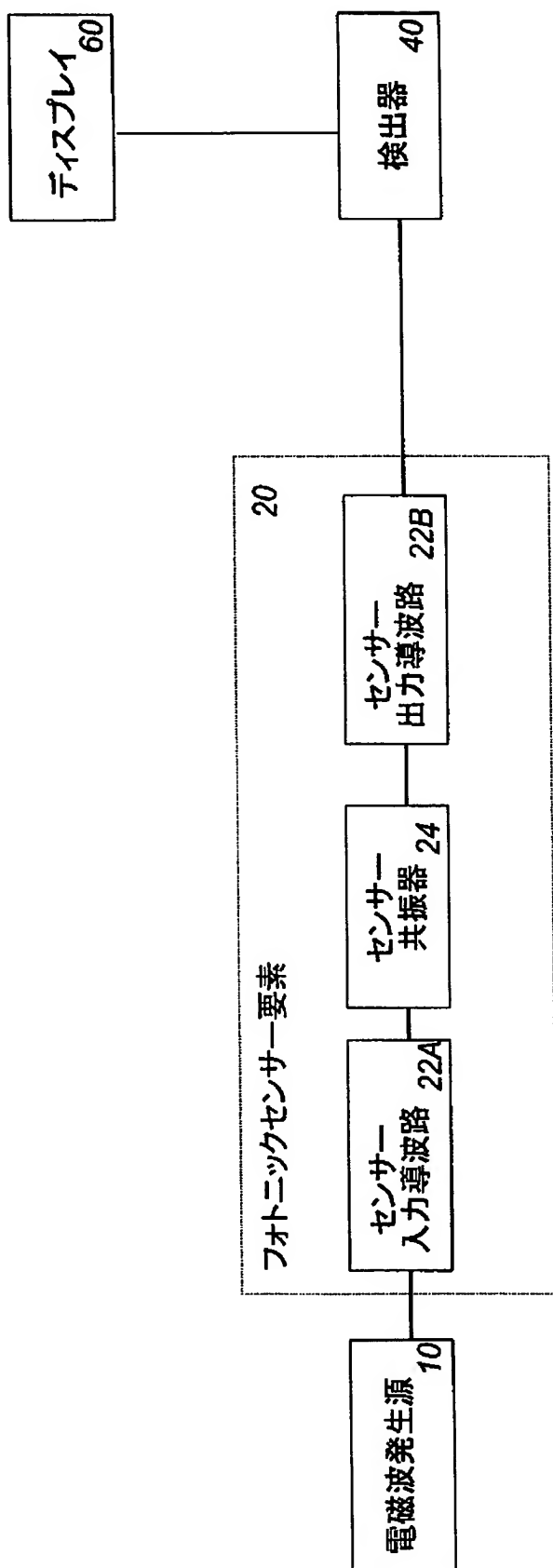
[図9]



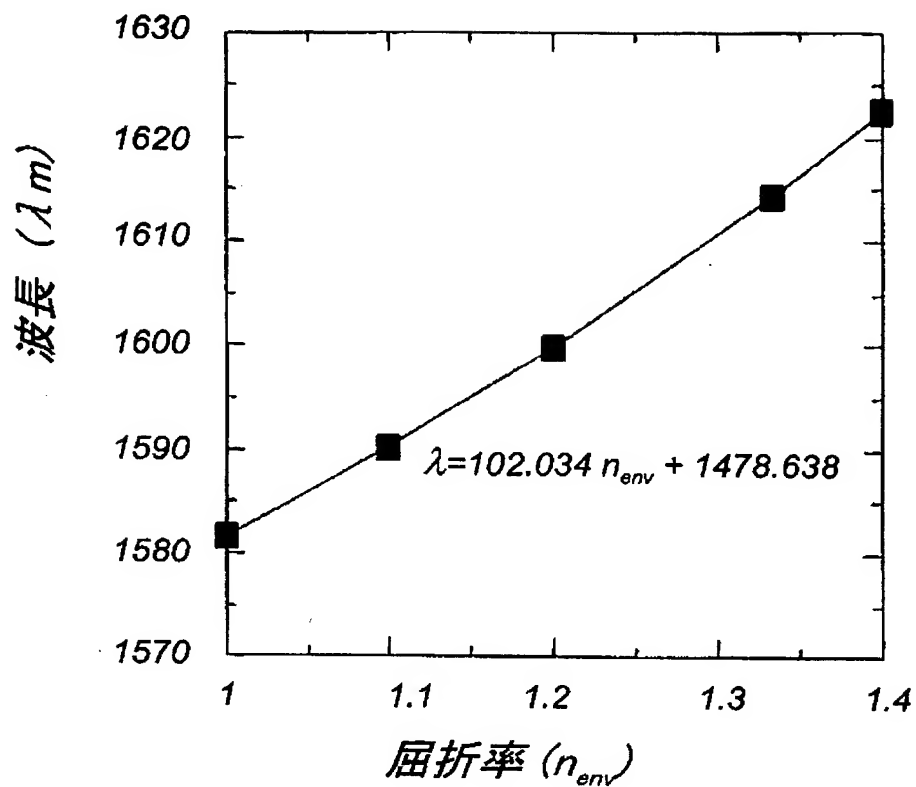
[図10]



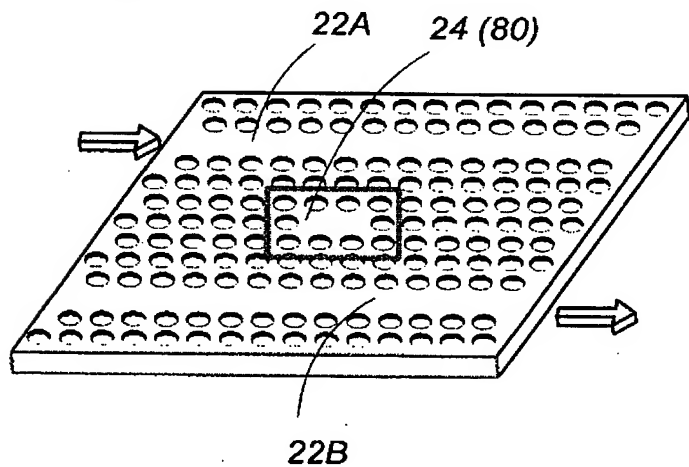
[図11]



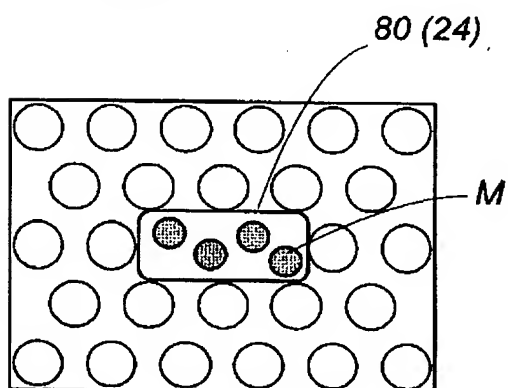
[図12]



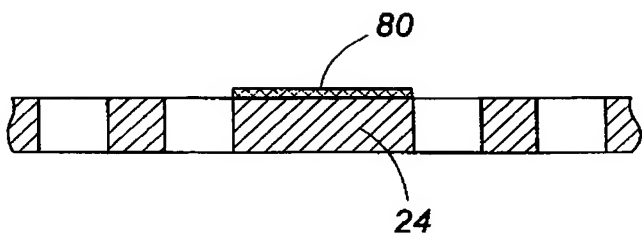
[図13]



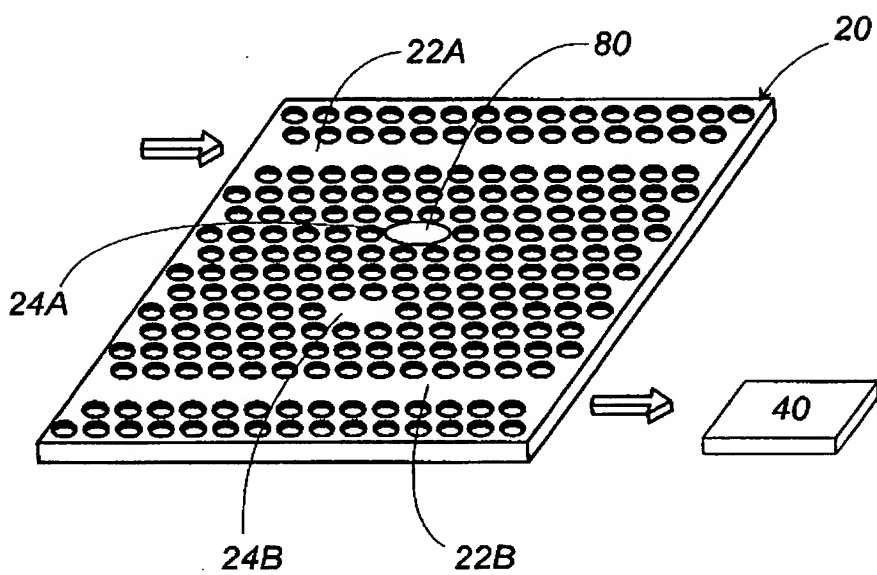
[図14]



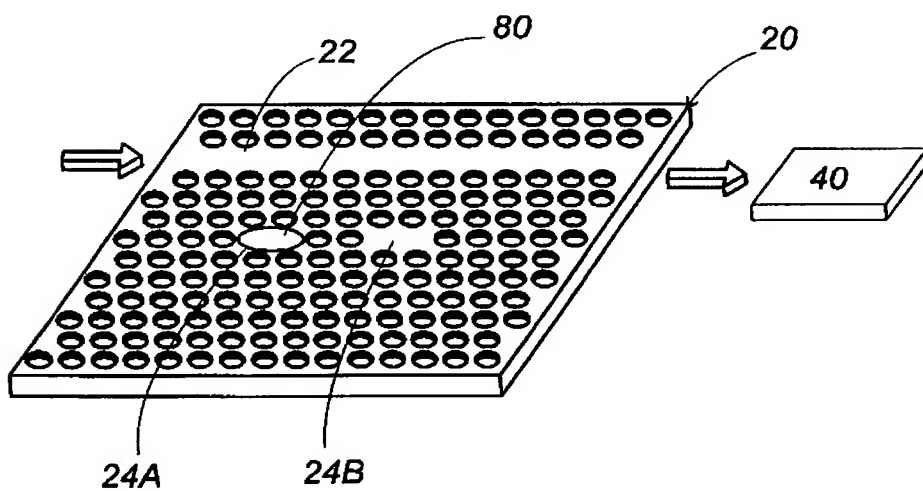
[図15]



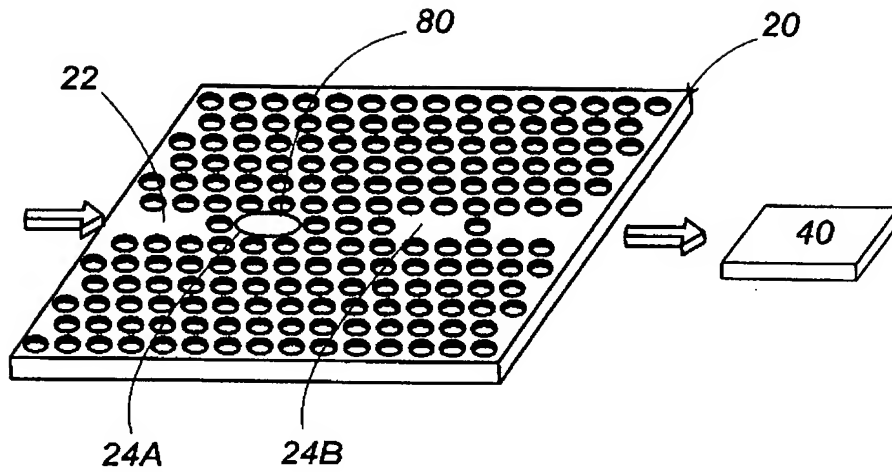
[図16]



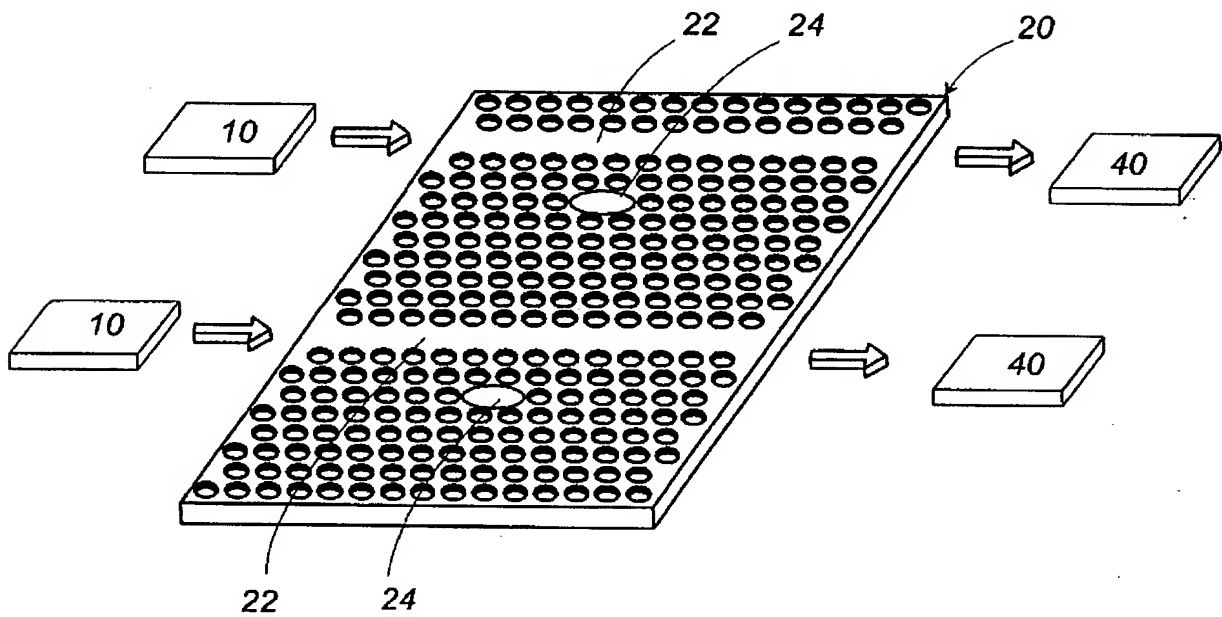
[図17]



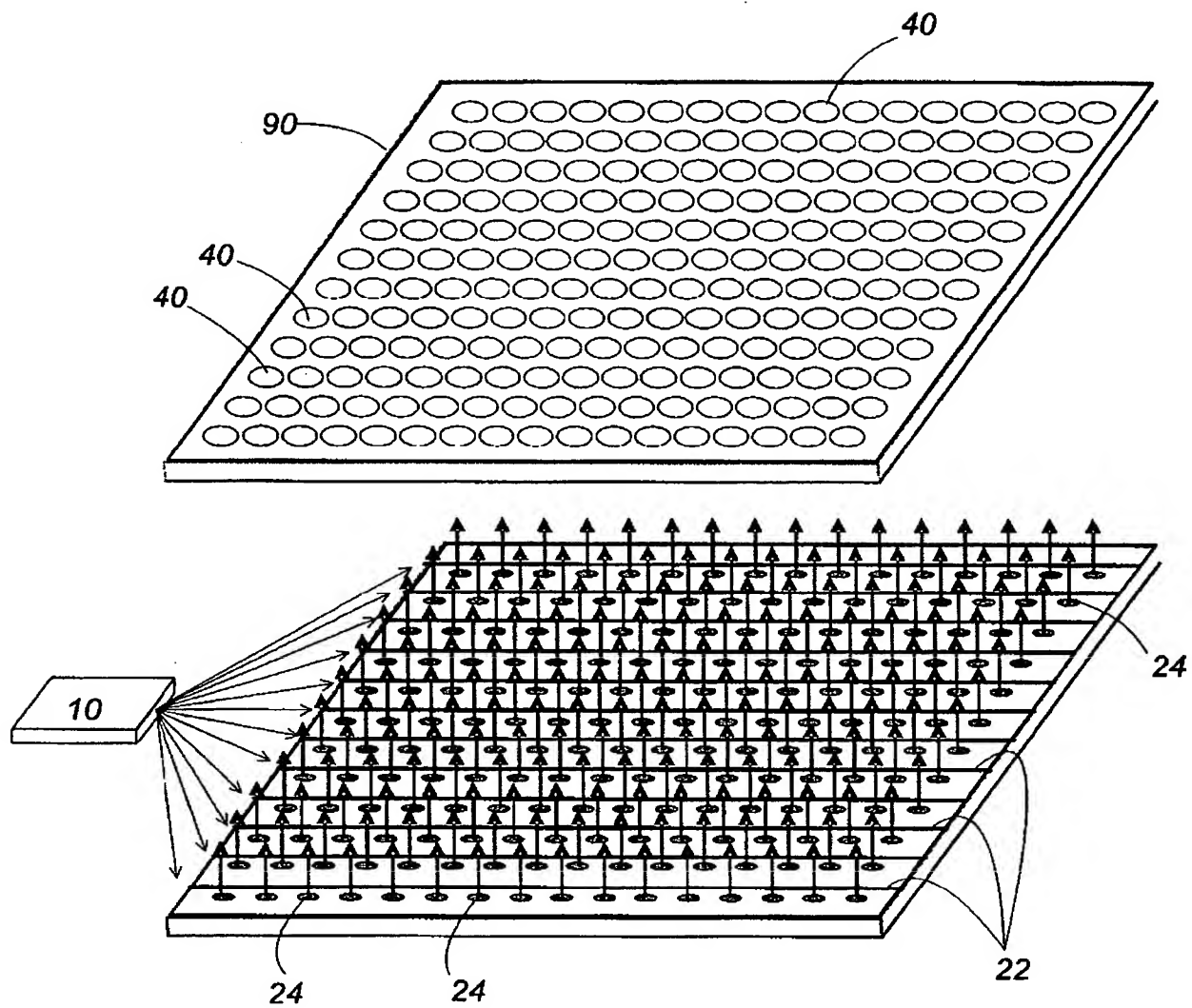
[図18]



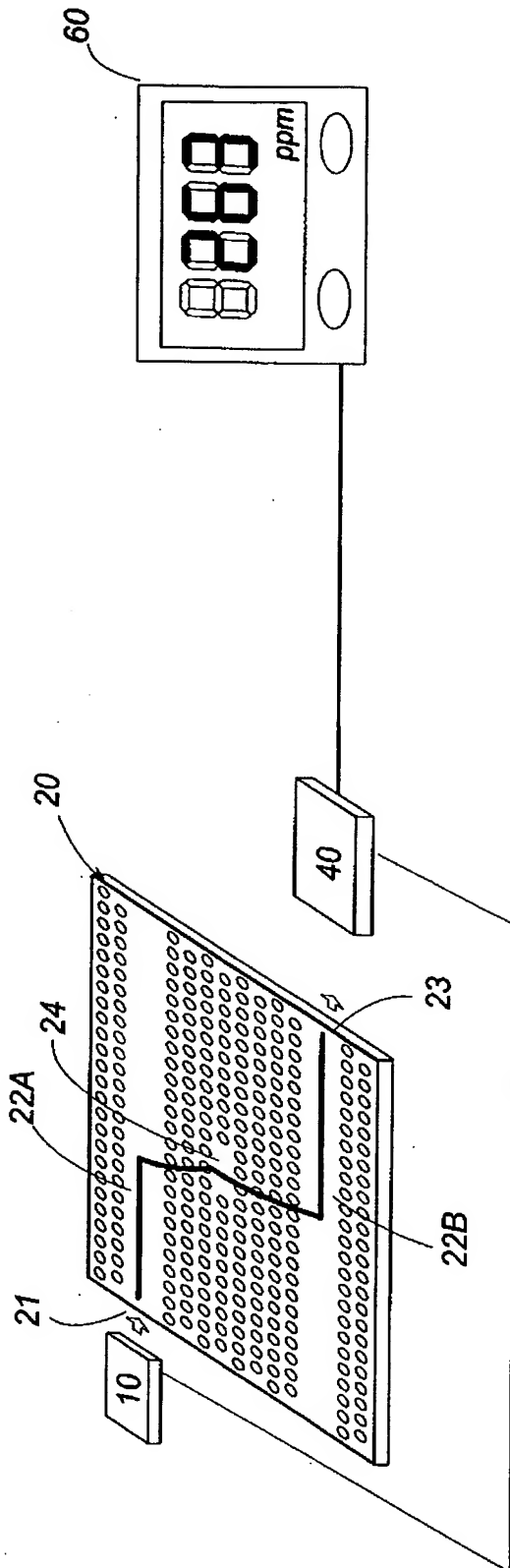
[図19]



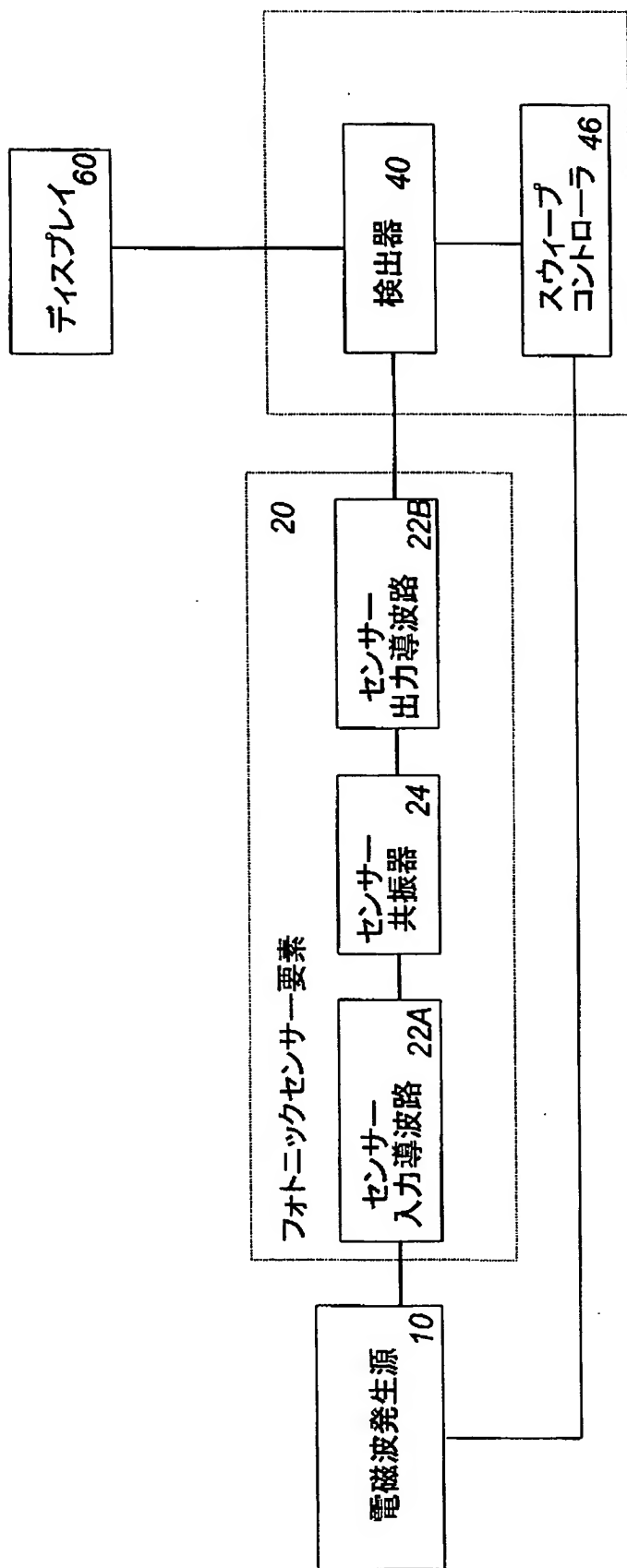
[図20]



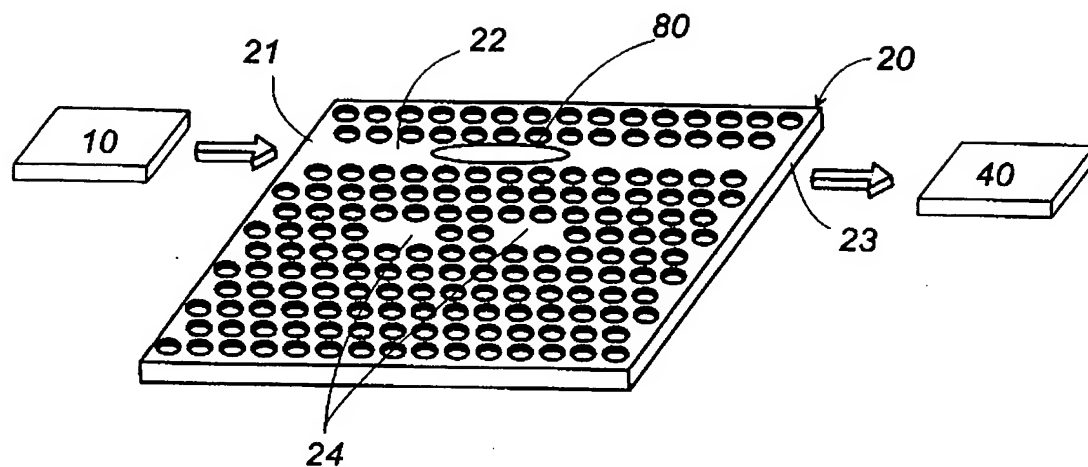
[図21]



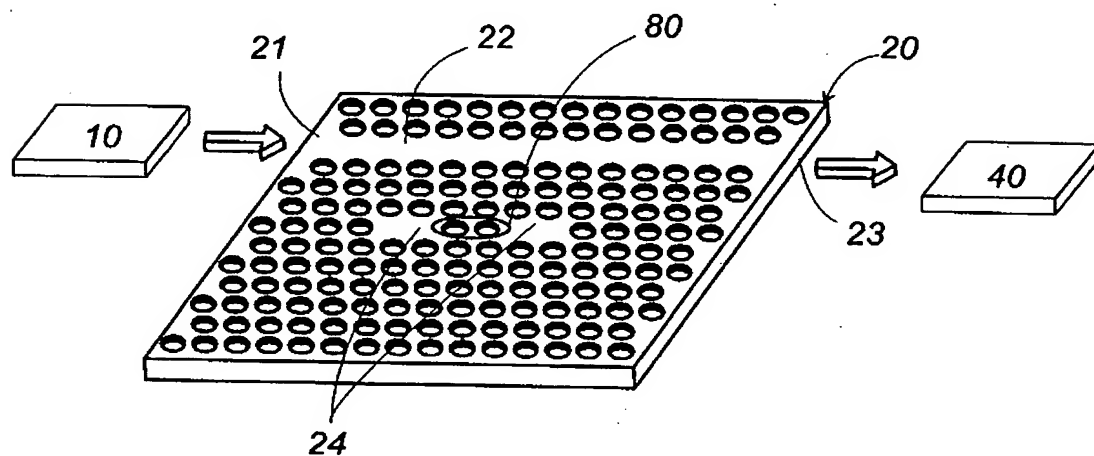
[図22]



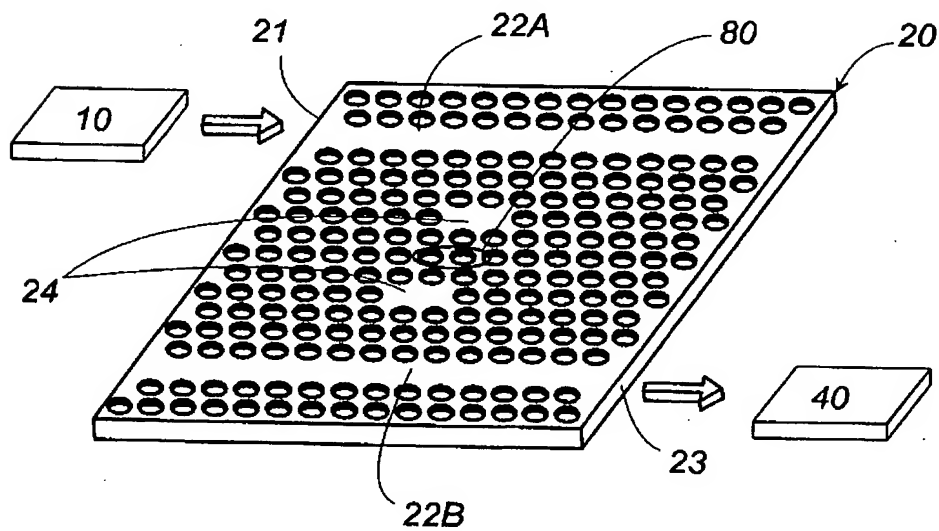
[図23]



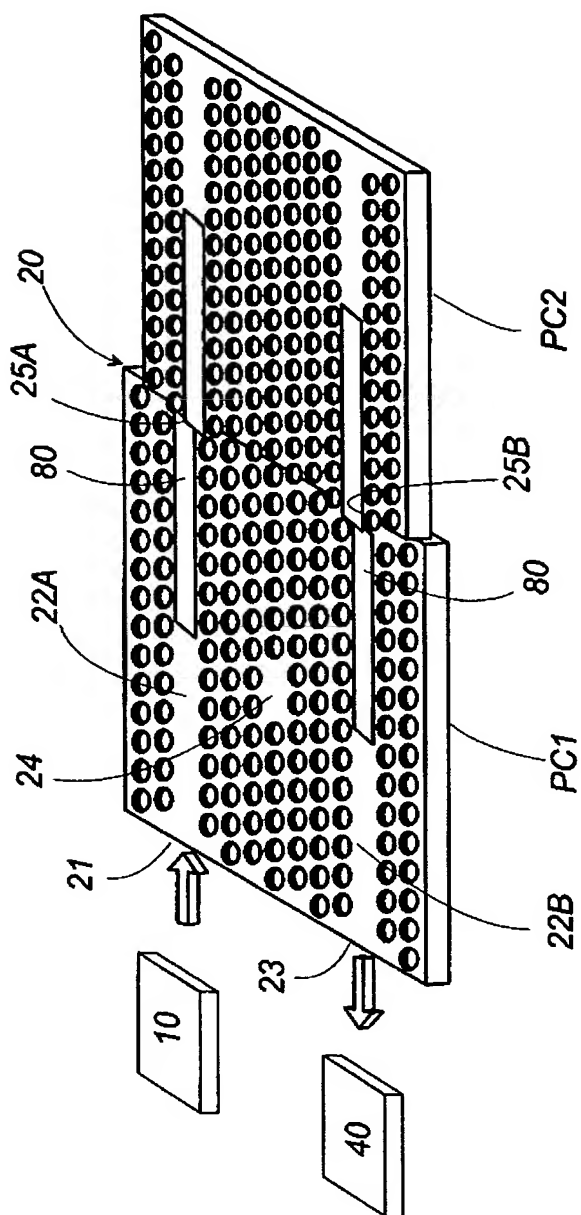
[図24]



[図25]



[図26]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/005249

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ G01N21/35, 21/45

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ G01N21/00-21/61

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JOIS, WPI/L, ECLA, PATOLIS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2002-191884 A1 (LETANT et al.), 19 December, 2002 (19.12.02), Full text (Family: none)	1, 2, 10, 13, 25
A	US 6532326 B1 (HUTCHINSON et al.), 11 March, 2003 (11.03.03), Full text & WO 02/25336 A	1-19, 25
A	US 2002-155592 A1 (Kelleher et al.), 24 October, 2002 (24.10.02), Full text & WO 02/59253 A	1-19, 25

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

06 July, 2005 (06.07.05)

Date of mailing of the international search report

26 July, 2005 (26.07.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/005249

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2002-118937 A1 (Broderick et al.), 29 August, 2002 (29.08.02), Full text & WO 00/72067 A & EP 1181593 A	1-19,25
X	WO 02/50514 A1 (Feisst et al.), 27 June, 2002 (27.06.02), Full text & US 2004-69948 A1	1-8,10,15,25
E,X	JP 2005-99007 A (Canon Inc.), 14 April, 2005 (14.04.05), Full text (particularly, Par. Nos. [0074], [0112], [0123], [0145], [0146], [0178], [0186], [0203], [0248], [0250]) & WO 2005/22129 A	1-8,10-13, 17,18,25
X	US 2003/39446 A1 (Donald P.Hutchinson et al.), 27 February, 2003 (27.02.03), Full text & US 6532326 B1 & WO 02/25336 A2 & AU 6116601 A	1,2,10,12, 15,16,25

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/005249

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

See extra sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☒ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.: 1 - 19, 25
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/005249

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

Document 1 :US 2002-191884 A1

Document 1 describes the invention of determining an atmospheric gas concentration by using the transmitting spectrum shift of a photonic crystal caused by a gas atmosphere, and claims 1, 2, 25 in this application are neither more nor less than this.

A matter common to claims 3-24 is a matter related to claims 1, 2 only. Claims 3-9 relate to a method of using a specific wavelength light absorbing phenomenon by a photonic crystal and uses a reference sensor as an essential and common constitution, claims 10-16 relate to a method of using a phenomenon that the wavelength of an electromagnetic wave emitted from a photonic crystal shifts in the presence of a target material, claims 17-19 relate to a method of using a change in executed waveguide length by "a sensitive element" (refer to paragraph 23-25), claims 20-21 relate to the compensation mechanism of environment parameters, claims 22-23 relate to "a refreshing means", and claim 24 relates the addition of a light source wavelength/intensity modulating means.

Therefore, this application includes six inventions respectively related to claims 1-9/25, claims 10-16, claims 17-19, claims 20-21, claims 22-23, claim 24.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G01N21/35, 21/45

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G01N21/00-21/61

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で利用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JOIS WPI/L ECLA PATOLIS

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	US 2002-191884 A1 (LETANT et. al.) 2002.12.19, 全文 (ファミリーなし)	1, 2, 10, 13, 25
A	US 6532326 B1 (HUTCHINSON et al.) 2003.03.11, 全文 & WO 02/25336 A	1-19, 25
A	US 2002-155592 A1 (Kelleher et al.) 2002.10.24, 全文 & WO 02/59253 A	1-19, 25

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

06.07.2005

国際調査報告の発送日

26.7.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

2W

9118

樋口 宗彦

電話番号 03-3581-1101 内線 3292

様式PCT/ISA/210 (第2ページの続き) (2004年1月)

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

第III欄の続き参照

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
請求の範囲 1 - 19, 25
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
☒ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。



第Ⅲ欄の続き

文献1 : US 2002-191884 A1

文献1には、ガス雰囲気によるフォトニック結晶の透過スペクトルシフトを利用して雰囲気ガス濃度を求める発明が記載されており、本願請求の範囲1, 2, 25項はこれと相違がない。

請求の範囲3-24項に共通する事項は請求の範囲1, 2項に係る事項のみである。そして、請求の範囲3-9はフォトニック結晶による特定波長光吸収現象を利用した方式に係り、リファレンスセンサを必須かつ共通の構成とし、請求の範囲10-16は、対象物質の存在によりフォトニック結晶から出射する電磁波の波長がシフトする現象を利用する方式に係り、請求の範囲17-19は「感応体」による実行導波路長変化を利用する方式に係り（段落23-25参照）、請求の範囲20-21は環境パラメータの補償機構に係り、請求の範囲22-23は「リフレッシュ手段」に係り、請求の範囲24は光源波長・強度変調手段の付加に係る。

よって、本願には、請求の範囲1-9・25、請求の範囲10-16、請求の範囲17-19、請求の範囲20-21、請求の範囲22-23、請求の範囲24にそれぞれ係る6発明が存在している。